

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO
DA SEGURANÇA DE BARRAGENS**

MONICA SOARES RESIO ZUFFO

CAMPINAS
2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO
DA SEGURANÇA DE BARRAGENS**

Arq.^a Monica Soares Resio Zuffo

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Inés Borri Genovez

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

CAMPINAS – SP
Agosto / 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Z83m Zuffo, Monica Soares Resio
Metodologia para avaliação da segurança de
barragens / Monica Soares Resio Zuffo.--Campinas, SP:
[s.n.], 2005.

Orientador: Ana Inés Borri Genovez.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Barragens e açudes - Segurança 2. Barragens e
açudes - Inspeção. 3. Engenharia - Metodologia. I.
Borri Genovez. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.
III. Título.

Título em Inglês: Methodology for evaluation of dam safety

Palavras-chave em Inglês: Dam safety, Dams – Inspection, Engineer - Methodology.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Paulo Sérgio Franco Barbosa, Luís César de Souza Pinto

Data da defesa: 29/08/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO
DA SEGURANÇA DE BARRAGENS**

Monica Soares Resio Zuffo

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. ^a Dr. ^a Ana Inés Borri Genovez
Presidente e Orientadora/ FEC-UNICAMP



Prof. Dr. Luís César de Souza Pinto

DAEE/EPUSP



Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa

FEC-UNICAMP

Campinas, 29 de agosto de 2005.

Dedico este trabalho aos meus filhos, Moira e Gregorio, a meu marido, Antonio Carlos Zuffo, e a minha mãe, Janete de Souza Soares Quintanilha, ambos exemplos de trabalho, dedicação, honestidade e seriedade.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela dádiva da vida e a possibilidade de aprendizado e aprimoramento.

À professora Ana Inés Borri Genovez pela orientação, amizade, confiança e por toda vontade, atenção e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Antonio Carlos Zuffo e Rozely Ferreira dos Santos pela amizade, companheirismo e pelas diversas oportunidades de discussão deste trabalho que forneceram ferramentas indispensáveis para sua realização.

Ao LAPLA (Laboratório de Planejamento Ambiental) do Departamento de Recursos Hídricos da FEC pelo apoio.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa oferecida, que proporcionou a viabilidade do meu estudo.

Ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) de Campinas pelo apoio e autorização para a utilização de dados e mapas necessários a esta pesquisa. Ao engenheiro Astor Dias de Andrade do DAEE por todo o apoio.

Aos professores do Departamento de Recursos Hídricos da FEC – UNICAMP pelas disciplinas ministradas que foram indispensáveis para a minha qualificação e consequente realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC – UNICAMP), especialmente à Sueli Espíndola Papa, Luiz Ricardo dos Santos Malta e Eduardo Chessini Bose, pela amizade e companheirismo.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos os contribuintes brasileiros que possibilitaram meu ensino superior gratuito.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xvi
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1) INTRODUÇÃO.....	01
2) OBJETIVOS.....	05
3) SEGURANÇA EM BARRAGEM.....	07
3.1) Introdução.....	07
3.2) Panorama Geral sobre a Segurança de Barragens.....	07
3.3) Método para Avaliação da Segurança de Barragens.....	70
3.4) Legislação Concernente à Segurança de Barragens.....	88
3.4.1) A Legislação Brasileira.....	88
3.4.2) A Legislação Americana.....	92
3.4.3) A Legislação Australiana.....	95

3.4.4) A Legislação Britânica.....	97
3.4.5) A Legislação Canadense.....	100
3.4.6) A Legislação Portuguesa.....	103
4) QUESTÕES AMBIENTAIS QUE AFETAM A SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	111
5) MATERIAL E MÉTODOS.....	121
5.1) Método para Avaliação de Segurança.....	121
5.2) Caracterização das Barragens de Campinas.....	137
5.3) Caracterização das Barragens em Estudo.....	140
6) RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	145
7) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	163
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165
ANEXO A - RELAÇÃO DAS BARRAGENS SITUADAS NO RIBEIRÃO DAS CABRAS.....	173
ANEXO B - PROJETO DE LEI Nº 1.181, DE 2003.....	175
ANEXO C - QUESTIONÁRIO PARA OBTENÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS.....	190

LISTA DE SÍMBOLOS

- a – volume útil ($M^0 L^3 T^0$);
- AE – depende do tipo de sistema de aviso e alerta e da eficácia operacional do mesmo, incluindo a antecipação do alarme e a periodicidade de treinos e exercícios ($M^0 L^0 T^0$);
- A_j - área de inundação a jusante ($M^0 L^2 T^0$);
- AP – Avaliação de performance ($M^0 L^0 T^0$);
- b – população a jusante ($M^0 L^0 T^0$);
- c – custo da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- CS – características sociológicas das populações em risco (depende do grau de escolaridade, faixa etária, nível de percepção do risco e a capacidade de resposta a situações de crise) ($M^0 L^0 T^0$);
- ERB – estado real da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- $f(x^*)$ - Solução ótima ou solução ideal ($M^0 L^0 T^0$);
- $f_i(x^*)$ - Soluções ótimas para cada critério de segurança a ser avaliado ($M^0 L^0 T^0$);
- FC – depende das características hidrodinâmicas da cheia, correspondente ao cenário de ruptura considerado, na zona em análise ($M^0 L^0 T^0$);
- f_{Ri} - probabilidade condicional de ocorrência de ruptura da barragem dado o evento que a causou ($M^0 L^0 T^0$);
- FV - fator de vulnerabilidade numa determinada área de um vale ($M^0 L^0 T^0$);
- I – Importância da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- IC – Índice Comportamental ou de Comportamento ($M^0 L^0 T^0$);
- ISB – Índice de Segurança de barragens ($M^0 L^0 T^0$);
- I_{vo} - índice de vulnerabilidade objetivo ($M^0 L^0 T^0$);
- I_{vs} - índice de vulnerabilidade subjetivo ($M^0 L^0 T^0$);
- M – número de sub-áreas de inundação a jusante ($M^0 L^0 T^0$);
- n - número de critérios que entram no cálculo do IBS ($M^0 L^0 T^0$);
- NP – número de pessoas expostas ao perigo ($M^0 L^0 T^0$);
- OS – índice de ocupação do solo por atividades econômicas e zonas habitacionais ($M^0 L^0 T^0$);
- P – periculosidade; ($M^0 L^0 T^0$);
- P_{Ei} - a probabilidade de excedência anual do limiar da causa que pode desencadear o cenário ($M^0 L^0 T^0$);
- P_i – fatores que entram no cálculo da periculosidade ($M^0 L^0 T^0$);
- PP – periculosidade potencial ($M^0 L^0 T^0$);

PR – Potencial de Risco ($M^0 L^0 T^0$);

q_i - nota no i-ésimo critério ($M^0 L^0 T^0$);

R_{ip} – risco ponderado ($M^0 L^0 T^0$);

R_{ji} - riscos a jusante ($M^0 L^0 T^0$);

SI – susceptibilidade física da estrutura ao impacto das cheias ($M^0 L^0 T^0$);

w_i - peso correspondente ao i-ésimo critério ($M^0 L^0 T^0$);

V - vulnerabilidade ($M^0 L^0 T^0$);

V_i – fatores que entram no cálculo da vulnerabilidade ($M^0 L^0 T^0$);

V_{ji} - vulnerabilidade transformada em perdas de vidas humanas prováveis face ao cenário i ($M^0 L^0 T^0$).

LISTA DE ABREVIATURAS

AG - Alteração das características geométricas;
ANCOLD - Comissão Australiana de Grandes Barragens (Australian Commission on Large Dams);
APA - Área de Proteção Ambiental;
AS - Assoreamento;
ASDSO - Association of State Dam Safety Officials;
BL - Borda livre variável e/ou pequena;
CANCOLD - Canadian Committee on Large Dams (Comitê Canadense de Grandes Barragens);
CAP - Cheia Afluente de Projeto;
CB - barragem de contrafortes;
CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens;
CBGB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens;
CDA - Canadian Dam Association (Associação Canadense de Barragens);
CDSA - Canadian Safety Association (Associação Canadense em Segurança de Barragens);
CESP - Companhia Energética de São Paulo;
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental;
CGT - Teoria dos Jogos Cooperativos;
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear;
CNSB - Conselho Nacional de Segurança de Barragens;
COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos;
CV - Anomalias na cobertura vegetal;
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica;
DO - Documentação incompleta ou inexistente;
DS - Anomalias na drenagem superficial;
DSI – Dam Safety Index
EDF – Consultoria e Supervisão da França;
EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia;
ER - barragem de enrocamento;
ES - Erosão superficial;
EUA - Estados Unidos da América;
F - Falha Geológica / Fundação;
FE - Falha Estrutural;

FE/GA - Falha Estrutural/Galgamento;

FEMA - Federal Emergency Management Agency;

G - Não funcionamento das comportas;

GA - Galgamento;

H - altura;

ha - hectare;

HH - Capacidade de extravasamento do vertedor não disponível;

I - Deficiências Inexistentes ou Irrelevantes;

IA - Inclinação do talude acentuado ou relativamente acentuado;

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;

ICODS - Interagency Committee on Dam Safety;

ICOLD - Comissão Internacional de Grandes Barragens (International Commission on Large Dams);

IN - Inexistência de vertedouro de superfície ou insuficiência de extravasamento, ou inexistência de canal de restituição ou de muros de ala;

INAG - Instituto Nacional da Água;

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas;

IQA - Índice de Qualidade de Água;

ISB - Índice de Segurança da Barragem;

IT - Instabilidade de talude;

kW - quilo-watt;

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

M - Deficiências Médias;

M³ - metros cúbicos;

MAIA - Manual de Avaliação de Impactos Ambientais

MCE - sismo máximo;

MDNAIAIEOPTCARN - Ministério da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais;

MIN - Ministério da Integração Nacional;

MOPTC - Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;

MV - barragem de arcos múltiplos;

MVLWB - Mackenzie Valley Land and Water Board;

MVRMA - Mackenzie Valley Resource Management Act;

MW - mega-watt;
N/D - dado não disponível;
NEPA - National Environmental Policy Act;
NID - National Inventory of Dams;
NPS – *National Park Service* ou Serviço Nacional de Parques;
OBS - observação;
OMS - Organização Mundial de Saúde;
P - Pequenas Deficiências;
PAE - Plano de Ação Emergencial;
PG - barragem concreto gravidade;
PI -*Piping*;
PMF - vazão máxima provável;
PNSB - Política Nacional de Segurança de Barragens;
PS - Anomalias na proteção superficial;
RB - Ruptura de barragem;
RSB - Regulamento de Segurança de Barragens;
S - Defeito no vertedor;
SABESP - Companhia de Saneamento Básico de São Paulo;
SIG - Sistema de Informação Georeferenciada;
SMP - Sismo Máximo de Projeto;
SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens;
SNPC - Serviço Nacional de Proteção Civil;
SU - Surgências de água;
TA - Trincas no aterro;
TE - barragem de terra;
U - Barragens que romperam a montante, desencadeando efeito cascata;
USBR - United States Bureau of Reclamation;
USSD - United States Society on Dams;
VA - barragem em arco;
WCD - World Commission on Dams;
ZEI - zonas estritamente industriais.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1.1 - Deslizamentos e erosões.....	29
FIGURA 3.1.2 - Flutuação de entulhos / resíduos.....	29
FIGURA 3.1.3 - Atividade de castores.....	30
FIGURA 3.1.4 - Erosão por sulcos ao longo da crista.....	31
FIGURA 3.1.5 - Fissuras longitudinais na crista.....	31
FIGURA 3.1.6 - Fissuras transversais na crista.....	32
FIGURA 3.1.7 - Assentamento da crista.....	33
FIGURA 3.1.8 - Orifícios na crista.....	33
FIGURA 3.1.9 - Erosão no paramento a montante.....	34
FIGURA 3.1.10 - Deslocamento do <i>rip-rap</i> ou enrocamento de proteção.....	35
FIGURA 3.1.11 - Grandes fissuras no paramento de montante.....	35
FIGURA 3.1.12 - Deslizamentos ou colapsos no paramento de montante.....	36
FIGURA 3.1.13 - Infiltração a montante.....	37
FIGURA 3.1.14 - Fissuras longitudinais no paramento de jusante.....	37
FIGURA 3.1.15 - Deslizamento ou colapso no paramento de jusante.....	38
FIGURA 3.1.16 - Infiltrações no paramento de jusante.....	39
FIGURA 3.1.17 - Formação de cavidades ou colapso no paramento de jusante.....	39
FIGURA 3.1.18 - Erosão no paramento de jusante.....	40
FIGURA 3.1.19 - Infiltração de água no sopé a jusante.....	41
FIGURA 3.1.20 - Água parada no sopé a jusante.....	41
FIGURA 3.1.21 - Áreas úmidas ou surgências de água no paramento de jusante.....	42
FIGURA 3.1.22 - Inoperabilidade dos equipamentos para a saída de água.....	43
FIGURA 3.1.23 - Problemas nos condutos.....	44
FIGURA 3.1.24 - Erosão / deslizamentos no canal de restituição.....	45
FIGURA 3.1.25 - Bloqueio do canal de descarga.....	45
FIGURA 3.1.26 - Vegetação excessiva nos taludes.....	46
FIGURA 3.1.27 - Atividade animal.....	47
FIGURA 3.1.28 - Organograma de Estudos sobre Segurança de Barragens.....	49
FIGURA 3.1.29 - Distribuição global de barragens por altura (m).....	54
FIGURA 3.1.30 - Distribuição regional de barragens por altura (m).....	55
FIGURA 3.1.31 - Distribuição global do volume do reservatório das barragens (milhões de m ³).....	55

FIGURA 3.1.32. Distribuição regional do volume do reservatório (milhões de m ³).....	56
FIGURA 3.1.33 - Tipo de barragem que sofreu falha.....	59
FIGURA 3.1.34 - Causa da falha da barragem.....	60
FIGURA: 3.1.35 - Relação entre os acidentes e o ano de construção.....	61
FIGURA 3.1.36 - Acidente com barragens por década.....	62
FIGURA 3.1.37 - Altura das barragens que falharam.....	62
FIGURA 3.1.38 - Número de grandes barragens comissionadas por década na América do Sul.....	64
FIGURA 3.1.39 - Propósito das grandes barragens construídas na América do Sul.....	65
FIGURA 3.2.1 - Esquema proposto para Avaliação do Potencial de Risco.....	82
FIGURA 3.3.1 - Proprietários de Barragens nos Estados Unidos.....	92
FIGURA 4.1 - Distribuição de água no mundo.....	114
FIGURA 5.1.1 - Função de valor para representar o pH de uma substância em que se deseja uma solução neutra.....	123
FIGURA 5.1.2 - Funções de Valor para os Critérios 1 e 2 e respectivos conceitos.....	124
FIGURA 5.1.3 - Funções de Valor para os Critérios 3 e 4 e respectivos conceitos.....	125
FIGURA 5.1.4 - Funções de Valor para os Critérios 5 e 6 e respectivos conceitos.....	126
FIGURA 5.1.5 - Funções de Valor para os Critérios 7 e 8 e respectivos conceitos.....	127
FIGURA 5.1.6 - Funções de Valor para os Critérios 9 e 10 e respectivos conceitos.....	128
FIGURA 5.1.7 - Funções de Valor para os Critérios 11 e 12 e respectivos conceitos.....	129
FIGURA 5.1.8 - Funções de Valor para os Critérios 13 e 14 e respectivos conceitos.....	130
FIGURA 5.1.9 - Funções de Valor para os Critérios 15 e 16 e respectivos conceitos.....	131
FIGURA 5.1.10 - Funções de Valor para os Critérios 17 e 18 e respectivos conceitos.....	132
FIGURA 5.2.1 - Setor do usuário das barragens da Região Metropolitana de Campinas.....	138
FIGURA 5.2.2 - Classificação quanto ao propósito de construção.....	138
FIGURA 5.2.3 - Construção quanto à finalidade da barragem.....	139
FIGURA 5.2.4 - Localização das barragens de Campinas quanto ao curso d'água.....	139
FIGURA 5.3.1 - Bacia do Ribeirão das Cabras.....	140
FIGURA 5.3.2 - Usuário das barragens em Ribeirão das Cabras.....	141
FIGURA 5.3.3 - Finalidade das barragens do Ribeirão das Cabras.....	142
FIGURA 5.3.4 – Espacialização dos eventos históricos e relação com ocorrência de enchentes na APA de Campinas.....	143
FIGURA 6.1 - Distribuição das amostras do IPT quanto ao grau de deficiência.....	154
FIGURA 6.2 - Partes das barragens afetadas nas amostras IPT.....	155

FIGURA 6.3 - Distribuição das anomalias quanto ao tipo.....157

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1.1 – Primeiras barragens construídas em alguns países.....	12
TABELA 3.1.2 a - Distribuição de 61 casos de falhas por idade e tipo de barragem.....	17
TABELA 3.1.2 b – Distribuição por altura e tipo de barragem.....	17
TABELA 3.1.2 c – Distribuição por data de inauguração e tipo de barragem.....	17
TABELA 3.1.3 – Distribuição da taxa de falhas (depois primeiro enchimento) e barragens existentes pela data de inauguração e tipo de barragem.....	18
TABELA 3.1.4 – Relação de itens a serem inspecionados em barragens.....	19
TABELA 3.1.5 – Causas de rupturas em barragens.....	23
TABELA 3.1.6 - Problemas freqüentes encontrados em pequenas barragens.....	48
TABELA 3.1.7 - Ruptura de barragens de material solto que romperam devido ao galgamento..	51
TABELA 3.1.8 - Dados anteriores e posteriores ao rompimento das barragens de Euclides da Cunha e Sales Oliveira.....	52
TABELA 3.1.9 - Falhas de barragens reportadas desde 1860 que mataram mais de 10 pessoas..	57
TABELA 3.1.10 - Classificação da consequência de ruptura de barragens e potencial consequência incremental da ruptura.....	67
TABELA 3.1.11 - Freqüência de re-avaliações da segurança de barragens.....	68
TABELA 3.1.12 - Categorias e causas de falhas em barragens.....	69
TABELA 3.2.1 - Categorias de tamanho para determinação do potencial de risco de barragens..	71
TABELA 3.2.2 – Dado das barragens em avaliação.....	72
TABELA 3.2.3 – Resumo das condições de segurança nas barragens pesquisadas.....	74
TABELA 3.2.4 - Classificação quanto a Periculosidade Potencial.....	79
TABELA 3.2.5 - Classificação segundo o Estado Real da Barragem.....	79
TABELA 3.2.6 - Requisitos mínimos quanto à manutenção.....	83
TABELA 3.2.7 - Freqüência de inspeções.....	83
TABELA 3.2.8 - Periculosidade das barragens.....	84
TABELA 3.2.9 – Vulnerabilidade – Estado de Condição Atual da Barragem.....	85
TABELA 3.2.10 - Importância estratégica da barragem.....	86
TABELA 3.2.11 - Potencial de Risco.....	87
TABELA 3.3.1 - Órgãos Governamentais que formam o ICODS.....	93
TABELA 3.3.2 - Resumo das questões legais nas Províncias Canadenses.....	101
TABELA 4.1 - Alterações resultantes da implantação de usinas hidrelétricas e reservatórios....	112

TABELA 5.1.1 - Equações ajustadas e r^2 para todos os critérios.....	133
TABELA 5.1.2 - Pesos e Médias dos 18 critérios para Cálculo do ISB.....	135
TABELA 5.1.3 - Interpretação do Índice de Segurança de Barragem (ISB), obtido para cada Empreendimento.....	137
TABELA 6.1 - Resultado da aplicação da Metodologia ISB.....	148
TABELA 6.2 -Resultado da aplicação da Metodologia IC.....	152
TABELA 6.3 - Grau de deficiência das barragens estudadas pelo IPT.....	153
TABELA 6.4 - Resumo das ocorrências identificadas nas barragens estudadas pelo IPT.....	154
TABELA 6.5 - Classificação da barragem quanto priorização para execução das melhorias de segurança.....	156
TABELA 6.6 - Resumo sobre as barragens que sofreram ruptura no estudo do IPT.....	159

RESUMO

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2005, 192 p. Tese, Mestrado.

As barragens são geralmente obras associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de ruptura, com conseqüências catastróficas para as próprias estruturas, para o meio ambiente, com destruição de flora e fauna, e principalmente pelas perdas de vidas humanas e econômicas. Este trabalho tem por objetivo propor e validar uma metodologia alternativa para a avaliação de segurança de barragens. Para a realização deste trabalho escolheu-se algumas barragens localizadas no Ribeirão das Cabras que detém 25% de todas as barragens aprovadas no município de Campinas. A metodologia aqui desenvolvida e denominada de Índice de Segurança de Barragens considerou na sua implementação diferentes critérios que foram avaliados para cada barragem para obter a sua classificação em termos de segurança. A metodologia provou-se válida e uma importante ferramenta na avaliação da segurança de barragens ou açudes. Constatou-se que 37,5% das barragens apresentaram-se em condições insatisfatórias e 62,5% em condições deficientes e, portanto, 100% das barragens necessitam de intervenção urgente. A falta de monitoramento contínuo, a falta de documentação adequada, incluindo-se os projetos, a outorga e a falta de fiscalização das barragens em todas as fases desde o projeto até sua operação são fatores primordiais para a falta de segurança constatada neste estudo. Pode-se alertar que este problema é inerente a muitas barragens, justamente pelo fato de o país ainda não contar com uma legislação específica e não possuir uma articulação clara das responsabilidades de cada órgão competente nas questões que envolvem a segurança de barragens.

Palavras Chave: Barragem, Índice de Segurança de Barragens, Avaliação da Segurança de Barragens.

ABSTRACT

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Methodology for Evaluation of Dam Safety**. Campinas: College of Civil Engineering, Architecture and Urbanism of the University of Campinas, 2005, 192 p. Tese, Mestrado.

Dams are structures generally associated to high potential risks due to the possibility of their failure, which could bring catastrophic consequences to the structures themselves, to the environment by destructing the flora and fauna and, mainly, because they could cause economical and life losses. The purpose of this work is to propose and validate an alternative methodology to evaluate the security of dams. In order to develop this work some dams located at the *Cabras* Creek, Campinas, São Paulo, Brazil, were chosen since this river has 25% of all dams approved by the local government of Campinas city. The methodology developed here was called Dam Safety Index (DSI). It considers eighteen different criteria which are applied to evaluate each dam in order to obtain its classification in terms of security. The methodology proved itself to be effective and an important tool to diagnose the safety of dams. As a result, it was found out that 37.5% of the dams were in unsatisfactory conditions and 62.5% were in poor conditions; thus, 100% of dams are in need of urgent repairs not meeting the minimum desired safety level. The lack of a continuous monitoring, lack or imprecise documentation, including their projects and concession files, and no inspection on the part of the authorities in all phases are contributing factors to the lack of security verified in this study. It can be said that these problems are common in many small Brazilian dams, mostly because the country does not have a specific legislation to rule the security of dams and there is no clear responsibility stated as for what each government department should be in charge of.

Key words: Dam, Dam Safety Index, Evaluation of Dam Safety.

1) INTRODUÇÃO

A história da civilização está intimamente ligada à engenharia de barragens. Estas estruturas estão relacionadas com a ascensão e queda de civilizações, especialmente àquelas extremamente dependentes da irrigação. As barragens vêm servindo ao Homem há mais de 5.000 anos e ruínas de barragens podem ser encontradas em locais considerados berços da civilização, tais como Babilônia, Egito, Índia, Pérsia e em países situados no oriente distante (JANSEN, 1983).

As ruínas encontradas na Índia e Sri Lanka revelam como as barragens eram primeiramente construídas. Tratavam-se de barreiras de terra situadas ao longo de cursos d'água. Os construtores de barragens antigas também faziam uso de materiais como solo e pedras. Porém, como as técnicas construtivas eram bastante rudimentares, muitas vezes as estruturas falhavam em sua finalidade por serem facilmente destruídas. A construção bem sucedida da mais antiga barragem se deu no Egito, mais precisamente no Rio Nilo, em algum período entre 5.700 e 2.700 a.C. O historiador Heródoto atribuiu sua construção a Menes, o primeiro rei da primeira dinastia egípcia. Era uma barragem de alvenaria, situada em Kosheish, cerca de 20 quilômetros a montante do sítio destinado a construção de Memphis (JANSEN, 1983).

Desde esse período até o final do século XIX, as barragens desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento econômico das nações, na produção de água para uso doméstico, irrigação, para repor perdas em canais de navegação e abastecimento de água, entre outros (VELTROP, 1991). Após a Revolução Industrial, estas necessidades permanecem e se ampliam como um recurso no combate a enchentes, geração de energia elétrica e para prover recreação (SCHNITZER, 1994). Mas as barragens também podem alterar e desviar os cursos d'água, afetando o acesso à água e os direitos existentes. Como resultado, há a possibilidade de haver impactos significativos nos meios de sustento e no meio ambiente (WORLD COMMISSION ON DAMS, 2001).

Como se estas finalidades construtivas não oferecessem pressão suficiente no uso dos recursos hídricos, houve um aumento significativo na população mundial nos últimos 40 anos, com estatísticas alarmantes para os próximos anos. Apesar de a taxa de natalidade ter caído de

2% ao ano - final dos anos 60 - para 1,2% ao ano em 2005, os números ainda são surpreendentes. Nos anos 60, a população mundial correspondia a 3 bilhões de pessoas e hoje está por volta dos 6,5 bilhões. Para o ano 2050, as estatísticas apontam um número por volta dos 9 bilhões (ONU, 2005).

Segundo a ONU (2005), as pessoas estão se mudando para os centros urbanos. As grandes cidades, tais como Tóquio, Cidade do México, Nova York - Newark, Mumbai, São Paulo e Nova Delhi, possuem cada uma mais de 15 milhões de habitantes, muito embora a maioria da população urbana viva em cidades com menos de meio milhão de pessoas.

Para que a demanda atual e futura de água seja suficientemente disponibilizada, mais reservatórios de superfície são necessários devido à distribuição irregular de água no tempo. Estruturas hidráulicas de condução são necessárias para suprir a má distribuição da mesma, no espaço. Neste contexto, as barragens desempenham um papel de múltipla finalidade. Elas foram e continuarão a ser as grandes propulsoras de atividades de desenvolvimento, pois com suas finalidades ajudam a nação a se tornar auto-suficiente na produção de alimentos e a prover energia necessária a sua industrialização, entre outras.

Em média, ocorrem dez rompimentos significativos de barragens em algum lugar do mundo a cada década, adicionando-se, ainda, os “quase rompimentos”. As falhas mais comuns que podem ocorrer em barragens são devidas a: enchentes extremas, incertezas geológicas no local escolhido para implantação, perdas de água através das fundações e aterros, defeitos de construção e projeto e sismicidade. No século XX houve 200 casos notáveis de falhas em reservatórios ao redor do mundo e mais de 250.000 pessoas perderam suas vidas em desastres deste tipo (MCCULLY, 2001).

Contudo, como a Engenharia de Barragens não é uma ciência exata a ponto de se poder eliminar completamente o risco de um acidente ou incidente, a segurança de barragens deve ser a prioridade máxima em todas as fases de seu desenvolvimento e uso, incluindo o planejamento, projeto, construção e fases de operação e manutenção. Em vários países, a partir da década de 70 ou em alguns países antes disso, como Portugal, Estados Unidos, Reino Unido, Canadá e Austrália, a preocupação com a segurança de barragens vem se tornando um ponto chave para o

desenvolvimento específico de legislações relacionadas ao assunto e, assim, motivando um aumento e melhoria na avaliação da segurança deste tipo de empreendimento.

As obras existentes estão envelhecendo e as preocupações com a preservação da natureza vão crescendo. Grandes barragens já foram construídas nos locais propícios ao estabelecimento de grandes reservatórios e observa-se um aumento na construção de barragens de menor porte, menos instrumentadas e com técnicas construtivas e operacionais menos sofisticadas. Daí vêm as atenções, no domínio das barragens, para com a manutenção e segurança das obras existentes. O impulso que também colaborou para a crescente preocupação com a segurança de barragens foi a aquisição de novas informações hidrológicas, novas tecnologias construtivas e a constatação de um crescimento das populações nos vales a jusante, além da proteção contra riscos observados em sociedades democráticas (percepção do risco), segundo MATOS ALMEIDA (1998).

O propósito dos programas de segurança de barragens é reconhecer os perigos potenciais oferecidos pelas estruturas e reduzi-los a níveis aceitáveis. Barragens seguras podem ser construídas e deficiências ou potenciais deficiências na segurança geralmente podem ser corrigidas a tempo, antes que causem perdas sócio-econômicas ou, pior, perdas de vidas e desastres ecológicos.

Resumindo, pode-se chegar a seguinte conclusão: água é essencial e as barragens são indispensáveis. Porém, há de existir uma proteção da população envolvida, a estrutura deve cumprir com a sua finalidade construtiva seguramente e o meio ambiente deve ser protegido, para que todas as partes envolvidas tirem o melhor proveito possível entre todos os benefícios que as barragens podem proporcionar se operadas e mantidas de uma maneira segura e adequada.

2) OBJETIVOS

As barragens são geralmente obras associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de ruptura, com conseqüências catastróficas para as próprias estruturas, para o meio ambiente, com destruição de flora e fauna, e principalmente pela perda de vidas humanas e econômicas. Este trabalho tem por objetivo validar uma metodologia alternativa para a Avaliação da Segurança de Barragens. Esta metodologia busca minimizar ao máximo a subjetividade inerente a qualquer tipo de avaliação, por meio do estabelecimento de funções de valor e pesos relativos a cada critério de avaliação que colabora para a conformidade final da condição de segurança de uma barragem, chegando-se a um Índice de Segurança da Barragem (ISB). Este indicador (ISB) poderá ser calculado para qualquer empreendimento deste tipo e informará as características básicas de segurança que cada empreendimento se encontra, numa determinada data e, ainda, sugere medidas de ação posteriores à avaliação. Para tal, serão avaliadas as condições de segurança de algumas barragens localizadas na sub-bacia do Ribeirão das Cabras, no município de Campinas.

3) SEGURANÇA DE BARRAGENS

3.1) Introdução

Neste item, será apresentada a revisão bibliográfica concernente a evolução do tema “Segurança de Barragens”, ao redor do mundo. O assunto ganhou um grande impulso a partir da década de 80, devido à proliferação de grandes barragens, ao redor do mundo.

3.2) Panorama Geral sobre a Segurança de Barragens

JANSEN (1983) afirma que o risco de falha de barragens é um dos pesos inevitáveis que a humanidade deve carregar. Os programas de segurança de barragens são de vital importância para toda a sociedade e clama por talentos multidisciplinares, ou seja, engenheiros têm que trabalhar em conjunto, como por exemplo, com geólogos e especialistas em sismos. Ações coordenadas podem ajudar a redução de incertezas, mas devido à dificuldade de se aliar visões distintas, nem toda falha de barragem pode ser evitada.

Barragens existentes devem ser reavaliadas periodicamente a fim de se assegurar que elas estejam em condições seguras, de acordo com os padrões de segurança vigentes na data de avaliação. Com os conhecimentos hidrológicos, geológicos e de sismologia atuais, as barragens que outrora foram consideradas seguras, podem não mais se enquadrar nesta classificação.

Maneiras distintas de como as barragens podem falhar são conhecidas. Barragens de concreto de gravidade têm como característica inerente a estabilidade. Até mesmo as construídas sobre fundações duvidosas resistiram, enquanto blocos adjacentes foram varridos. As barragens de arco são conhecidas por entrarem em colapso rapidamente quando suas fundações falham, muito embora os arcos são estruturas reconhecidamente fortes. Barragens de contrafortes podem se desintegrar tão logo os arcos ou vigas falhem, como numa sucessão de fileiras de dominós. Barragens de material solto tendem a falhar mais vagarosamente, porém obviamente são mais susceptíveis a erosões que àquelas construídas em alvenaria.

Exames de barragens existentes devem focar a detecção de qualquer condição que possa ameaçar a integridade vital da estrutura. Essas situações podem ser atribuídas à inadequação de materiais construtivos, defeitos na fundação, condições adversas no entorno, deficiências de projeto ou operação e manutenção impróprias. A fim de se assegurar que estas condições sejam percebidas em seus estágios iniciais, a seguinte lista de itens a serem investigados, delineada pelo *Bureau of Reclamation* (1987), foi estabelecida:

1. Materiais de Construção: concreto, rochas, solo, cimento, metais, madeira, revestimentos, borrachas e seladores de juntas.
2. Condições gerais que evidenciam perigo: cavitação, infiltração, vazamentos, drenagem, ação do gelo, instabilidade e tensão / deslizamento.
3. Deficiências de operação e manutenção: equipamentos elétricos e mecânicos, acessibilidade e visibilidade, crescimento de plantas e animais que fazem tocas, tensão / deslizamento, instabilidade, infiltração e descontinuidade de juntas e fundação.
4. Evidências de deficiências em barragens de material solto: tensão / deslizamento, instabilidade, vazamentos, erosão, fundação e riscos de ruptura nos equipamentos e estruturas associadas.
5. Evidência de deficiências em vertedores: estrutura hidráulica de controle, canal de aproximação, comportas, pontes, conduto de descarga, estruturas terminais, canais de restituição, plataformas operacionais e guindastes, poços, condutos e túneis.
6. Evidências de deficiências nas saídas d'água: canais de aproximação, estruturas de tomada d'água, câmaras das comportas, comportas, válvulas, guindastes, controles, equipamentos elétricos e dutos de ar, estruturas terminais, canais de restituição e plataformas de resíduos.
7. Condições adversas no entorno do reservatório: reservatório, taludes do reservatório, proximidade a jusante, curso d'água e entorno regional.

O pior acidente ocorrido no Brasil com barragens foi a ruptura do açude de Orós, Ceará em 1960. Segundo JANSEN (1983), um pouco antes da meia noite do dia 25 de março de 1960, o então açude de terra ainda em construção, denominado de Orós sofreu galgamento, resultado de

uma onda de cheia proveniente de uma precipitação pluviométrica de mais de 635 mm, que ocorreu em menos de uma semana. Segundo MCCULLY (2001), cerca de 1.000 pessoas perderam suas vidas neste acidente.

JANSEN (1983) narra que a evacuação de aproximadamente 100.000 pessoas provenientes do Vale do Jaguaribe começou no dia 22 de março. Após o galgamento do açude, alertas foram transmitidos, via rádio, para todas as áreas de risco. A onda de cheia atingiu com força total os povoados situados no estreito vale a jusante da estrutura. Castanheiro, uma pequena vila situada na confluência dos rios Jaguaribe e Salgado, desapareceu. A cidade de Jaguaribe, situada cerca de 75 quilômetros a jusante de Orós, foi atingida pela onda, aproximadamente, 12 horas depois que o rompimento começou.

Num total de 1.200 moradias, 600 foram arruinadas ou severamente danificadas. Cerca de 9 horas depois que a torrente invadiu Jaguaribara, 35 quilômetros a jusante, mais de 700 casas foram danificadas ou completamente destruídas. Estima-se que mais ou menos 50.000 pessoas ficaram desabrigadas devido à inundação do vale. Após os reparos, a construção de Orós foi concluída e o reservatório passou a ser operado em fevereiro de 1961.

NARAYANA, SINGH e PANDYA (1984) apresentaram um trabalho na Conferência Internacional de Segurança de Barragens, realizada em Coimbra, onde foram discutidos os aspectos da reavaliação da segurança em barragens já construídas, em especial na Índia. Constataram que no século XX houve 200 casos notáveis de falhas em reservatórios ao redor do mundo. Estima-se que mais de 8.000 pessoas perderam suas vidas em desastres deste tipo. As mortes causadas por acidentes rodoviários fazem, ao redor do mundo, por ano, muito mais vítimas que todas as mortes que ocorreram em todo século XX devidas à falhas em barragens. Isto mostra que falhas em barragens não apresentam um grande risco para a humanidade. Por outro lado, de acordo com os autores, as barragens foram e continuarão a ser as grandes propulsoras de todas as outras atividades de desenvolvimento em todo o mundo. Elas ajudam a nação a se tornar auto-suficiente na produção de alimento e a prover energia necessária à industrialização.

A atividade de construção de barragens tomou ímpeto e ganhou prioridade na Índia depois da sua independência. A quantidade, a altura e o comprimento das barragens vêm aumentando e, também, os problemas técnicos.

Enquanto estas barragens têm contribuído para o desenvolvimento do país por meio da auto-suficiência na produção de alimentos e geração de energia, elas também representam um potencial de risco devido a situações catastróficas as quais podem se dar se o reservatório for esvaziado rapidamente, devido à uma falha ou acidente. A altura da barragem e a capacidade de armazenamento do reservatório são os fatores mais significantes para se determinar o potencial de risco da barragem em questão.

Para a determinação do potencial de risco de uma barragem também se deve considerar o desenvolvimento presente e futuro das áreas à jusante da barragem. As perdas econômicas geradas por um acidente podem ser medidas de acordo com os propósitos da barragem. Se o objetivo for produção de energia, as indústrias que dependem dela poderiam vir a ter o suprimento de energia interrompido abruptamente; se o objetivo for a agricultura, pode afetar negativamente a produção de alimentos na área.

A maioria das barragens construídas na Índia têm tido um bom desempenho mas algumas desenvolveram problemas. Vem acontecendo várias falhas grandes ou parciais. A falha na barragem de Machhu II, em 1979, no estado localizado à oeste do estado de Gujarat custou a perda de quase 2.000 vidas. Durante o período de cheias dos anos de 1983-84, quatro barragens na área de Rajkot, em Gujarat, foram danificadas devido as cheias e portanto causaram grandes perdas. Similarmente, a barragem Mata Tilla, no Uttar Pradesh foi sujeita a grandes enchentes que conseqüentemente levaram a barragem perto de uma condição crítica. Estes incidentes determinaram um potencial de risco associado às barragens e trouxeram à tona as duas seguintes questões:

- ✓ Como prevenir / reduzir ou evitar as falhas observadas em barragens existentes enquanto novas barragens vêm sendo construídas; e
- ✓ Avaliação da segurança das barragens existentes com base nos critérios atuais.

A Organização de Segurança em Barragens foi criada em 1979, na Índia, após se darem conta da importância da questão. Esta Organização é suplementada por uma organização de âmbito estadual para efetiva vigilância de todas as barragens.

Para todos os projetos financiados pelo Banco Mundial, quadros especiais de revisão da segurança em barragens estão sendo formalizados para aconselhar e revisar o projeto de construção e suas especificações durante a construção do projeto. Dessa maneira, espera-se que, dentro do possível, as barragens que agora estão sendo construídas poderão aproveitar o benefício do conhecimento coletivo dos mais qualificados especialistas de diferentes especialidades e, assim, assegurar suas segurança. O problema que eles têm enfrentado concernente à avaliação da segurança de barragens existentes, juntamente com alguns casos históricos, tem sido discutido.

O propósito da avaliação de segurança é determinar o status da barragem no que diz respeito a sua estrutura e segurança operacional. A avaliação deve identificar problemas e recomendar tanto medidas remediadoras, restrições operacionais e/ou modificações, ou análises de estudos para a solução dos problemas.

A segurança de uma barragem pode ser afetada por fenômenos naturais como enchentes, deslizamentos, terremotos e deterioração do corpo da barragem e da fundação. Com o passar do tempo, a estrutura da barragem pode se deteriorar devido à idade e, em alguns casos, maiores pressões internas e vazamentos podem se desenvolver. Geralmente, esses processos são lentos e não são prontamente percebidos por meio de um exame de rotina. O monitoramento contínuo da performance da barragem irá assegurar a detecção de qualquer não conformidade seja no projeto ou qualquer problema dentro da barragem que possa causar falha.

Os registros de falhas em barragens encontrados na Índia indicam que a maioria das falhas aconteceu em barragens de terra, seguidas pelas de enrocamento, arcos múltiplos e arco, nesta ordem. Os tipos de problemas encontrados na avaliação de segurança de barragens esbarram fatalmente nas seguintes categorias:

- ✓ Capacidade inadequada do vertedor;
- ✓ Estabilidade estrutural das barragens não satisfaz os critérios de uma determinada época;
- ✓ Infiltração excessiva nas barragens de alvenaria;
- ✓ Perigo nas barragens de concreto na forma de rachaduras etc; e
- ✓ Desgaste excessivo do vertedor, à jusante, especialmente nas bacias de dissipação.

TAWIL (1984) diz que o Canadá ocupa uma importante posição no planejamento e construção de barragens com 580 grandes barragens construídas. O Canadá não experimentou falhas que causaram perdas humanas. Apesar das estatísticas satisfatórias de performance e uma abordagem geralmente responsável no concernente a segurança de barragens, alguns imprevistos e pontos falhos ainda existem. A tabela 3.1.1 indica a data de construção da primeira barragem em alguns países.

Tabela 3.1.1. Primeiras Barragens Construídas em Alguns Países.

PAÍS	ANO DE CONSTRUÇÃO DA MAIS VELHA BARRAGEM
China	833
Estados Unidos	1810
Japão	Século II
Espanha	Século II
Índia	1664
Grã-Bretanha	1794
Coréia	1915
Suíça	1895
Itália	1830
França	1675
Canadá	1832
México	1730
Brasil	1901
Áustria	1911
Austrália	1857
Irã	1962

Fonte: modificado de TAWIL (1984)

Esta posição considerável no ranking é confirmada quando outros aspectos relativos à construção de barragens são examinados. A barragem Mica, na Columbia Britânica, quando foi inaugurada em 1972 passou a ser a mais alta barragem do tipo enrocamento no mundo, somente superada em 1980 pela barragem Nurek na antiga União Soviética. Com 66 milhões de metros

cúbicos, a barragem Gardiner, em Saskatchewan, era a quinta maior do mundo. Os reservatórios da barragem, de arcos múltiplos, Daniel Johnson, no Québec e Bennet, de enrocamento, na Columbia Britânica eram a sexta e oitava, em capacidade, no mundo. La Grande 2, no Québec, e Churchill Falls, no Labrador, foram, cada uma, planejadas com uma capacidade de geração de 5.000 MW e estavam entre as maiores hidrelétricas do mundo.

A experiência canadense com grandes barragens tem sido bastante satisfatória, pois estão livres de falhas que causaram perdas humanas ou danos extensivos. Apesar de pouco frequentes, falhas nos drenos ou vazamentos detectados, durante ou logo após o primeiro enchimento, seguido pela correção apropriada do defeito. Muito embora isto represente um registro inevitável de performance, não significa, necessariamente, que reflita o estado das barragens por todo Canadá. Na compilação de um inventário em mais de 1.200 barragens localizadas na província de Alberta, 250 barragens foram apontadas como não estando em condições satisfatórias.

Dentre todas as províncias canadenses, as de Alberta e Columbia Britânica desenvolveram práticas específicas de segurança apoiadas por regulamentos e foram implementadas pelos funcionários do setor administrativo. Alberta foi a primeira província a instituir leis que regem a segurança de barragens. A regulamentação da segurança de barragens e canais aprovada em 1978 foi a culminância de oito anos de preocupações da associação profissional da província. A legislação promulgada é extraordinária visto que não foi impulsionada por nenhum desastre com barragens. As regulamentações são administradas pelo Departamento de Segurança de Barragens, o qual produziu roteiros para licenciamento e critérios para o projeto de cheias, relacionados ao tamanho da barragem e ao potencial de risco.

A Columbia Britânica fez uso de legislações regulamentares existentes similares a outras províncias, para formular um programa de vigilância compreensível, o qual tem sido praticado por muitos anos. Somando-se ao licenciamento, guias de classificação e inspeções frequentes foram formulados e o Departamento de Direitos sobre a Água catalogou uma lista crescente de mais de 1.300 barragens com altura superior a 3 metros.

Nas províncias remanescentes, o progresso em direção a segurança de barragens variam muito. Todas as jurisdições reconhecem a necessidade de programas que assegurem a segurança

pública. Enquanto algumas províncias ainda não terminaram o inventário de suas barragens, esforços têm sido focados para a sua compilação. O progresso geral é lento e correntemente bloqueado por financiamentos inadequados. Na ausência de controle adequado, é realmente muita sorte que a vasta maioria dos proprietários de grandes barragens, tanto públicas como privadas, ajam de forma diligente e responsável com relação à suas estruturas.

Grandes estruturas com fins de geração de energia, particularmente aquelas do domínio público são geralmente equipadas adequadamente com os recursos necessários e pessoal habilitado para conduzir inspeções nas barragens e estruturas associadas. Em 1979, a autoridade de energia da Columbia Britânica, a B.C. Hydro, a qual possuía e operava 64 barragens, embarcou nos estudos de avaliação de 54 barragens construídas antes de 1960 (BRUNNER, 1983). Esta avaliação resultou em grandes reforços numa barragem de 70 anos; substituição completa de uma barragem de 60 anos e grandes modificações na capacidade do vertedor em uma barragem de 30 anos, para melhora de desempenho.

Somando-se ao trabalho remediador, estudos são constantemente realizados para monitorar as fundações de todas as barragens de concreto, atualizar os cálculos de enchentes e previsões de cheias, pesquisas de campo para checar a capacidade do vertedor e análises sísmicas são efetuadas. A grande motivadora desta avaliação foi a necessidade de uma revisão na organização das barragens da B. C. Hydro, as quais fornecem dados vitais para operação, planos de emergência, diretórios de comunicação e mapas de inundação.

CANTWELL e ANDERSON (1984) discorreram sobre algumas considerações a respeito da segurança em barragens na Austrália. O país possui um bom histórico em segurança de barragens. O último incidente com uma grande barragem ocorreu em 1929 quando uma barragem de 20 metros de altura, cujo dono era uma companhia de mineração, falhou e matou 14 pessoas. Em 1984, a Austrália possuía um total de 374 grandes barragens. A mais velha foi construída em 1857 mas, no total, $\frac{2}{3}$ de todas as grandes barragens existentes tem sido construídas desde 1950. A taxa atual de construção de novas e grandes barragens é de cerca de 10 por ano. Houve uma mudança significativa desde 1950 de barragens de concreto para enrocamento.

Em 1984, a Austrália possuía 265 barragens com altura inferior a 40 metros, sendo que 115 destas eram de terra, 91 barragens com altura entre 40 e 80 metros, bem distribuídas entre todos os tipos e 18 barragens com altura superior a 80 metros, sendo que 10 delas eram de enrocamento - CANTWELL e ANDERSON (1984)

Este bom histórico na segurança de barragens é atribuído, em parte, ao fato que a maioria das barragens australianas são projetadas, construídas, operadas e pertencentes a autoridades públicas, onde estão inclusas as agências federais, agências estaduais e conselhos municipais. As barragens remanescentes são operadas por companhias privadas (industriais e agricultores) as quais pertencem e são normalmente projetadas e construídas por consultores profissionais.

Apesar da boa performance das barragens, desenvolvimentos recentes no critério de projeto e, particularmente, a aplicação de métodos hidro-meteorológicos modernos que determinam o projeto de cheias, deram subsídios para o aumento das preocupações. Como um exemplo, em New South Wales, o projeto de barragens de concreto de gravidade construídas antes de 1930 não inclui provisões para aumento das pressões, enquanto a capacidade de seus vertedores são inadequados para os parâmetros atuais. Estudos que asseguram que estas barragens estejam em conformidade com critérios modernos, nestes e outros aspectos, têm sido realizados por muitos anos e estão ainda em progresso.

Um período de retorno de cheias muito maior, resultante dos métodos hidro-meteorológicos modernos também afeta várias barragens que foram construídas e métodos para tratar este problema adequadamente são, sem dúvida, a mais significativa questão da segurança e afetam os proprietários de barragens na Austrália.

Nos anos 70, com a crescente preocupação do ICOLD (International Commission on Large Dams) nas questões de segurança de barragens, a ANCOLD (Australian Commission on Large Dams) expressou preocupações com a total falta de legislação concernente ao assunto da segurança em barragens, na Austrália. Esta preocupação estava relacionada com o fato do número, a altura e a capacidade de armazenamento das novas barragens estarem sempre aumentando; mais barragens estão sendo construídas por grupos privados e, ainda, as áreas disponíveis para implantação de barragens tendem a ser geologicamente inferiores.

A ANCOLD expressou as suas preocupações em um documento endereçado ao governo federal e a todos os estados (ANCOLD, 1972). Assuntos relacionados à água, licenciamento de barragens e, conseqüentemente segurança de barragens são assuntos de responsabilidade estadual e não federal. Portanto, o governo federal não tomou nenhuma atitude, passando a responsabilidade aos estados.

Existem dois aspectos principais na questão da segurança em barragens na Austrália, os quais precisarão de atenção no futuro. O primeiro é no contexto administrativo, aonde existe uma necessidade, em muitos estados, de uma legislação em segurança de barragens a ser desenvolvida e implementada. O segundo, é no contexto técnico, onde a maior causa de preocupação é a inadequação dos muitos vertedores existentes. Há uma necessidade de esforços mais intensivos na produção de dados hidro-meteorológicos adequados para que se possa determinar, com mais precisão, as deficiências dos vertedores. Há também a necessidade relacionada ao desenvolvimento de técnicas de análises de risco e opções de segurança, os quais devem baixar o potencial de risco das barragens. Estas opções devem estar relacionadas com o aviso de enchentes e procedimentos de emergência, planejamento do uso e ocupação do solo e políticas de zoneamento, entre outras.

O trabalho do ANCOLD, de desenvolver um guia nacional para o dimensionamento de novos vertedores e revisão nos existentes, certamente será uma grande contribuição neste campo.

SERAFIM e CAVILHAS (1984) apresentaram um trabalho onde concluíram que as estatísticas referentes à falhas em barragens indicam que o galgamento devido a ondas de cheia é a principal causa para tal evento. Ele é atribuído à falta de capacidade do vertedor, avaliações deficientes da vazão durante a construção e mau funcionamento das estruturas e dos equipamentos de descarga. Barragens de terra apresentam a maior taxa de falha devido as causas acima listadas (na região em estudo, elas representam quase que a totalidade das barragens construídas) e é comum que as barragens de concreto sejam destruídas pelo galgamento. A seguir, apresentam, nas tabelas 3.1.2 a, 3.1.2 b, 3.1.2 c e 3.1.3, os resultados das falhas em barragens, ao redor do mundo até 1984. Apesar destes dados serem antigos, as estatísticas

produzidas por ele auxiliarão no desenvolvimento da metodologia que será proposta neste trabalho.

Tabela 3.1.2 a. Distribuição de 61 casos de falhas por idade e tipo de barragem.

TIPO DE BARRAGEM	DURANTE A CONSTRUÇÃO	PRIMEIROS CINCO ANOS	DEPOIS DE CINCO ANOS	TOTAL
De todos os tipos	13 (21,3%)	13 (21,3%)	35 (57,4%)	61 (100%)
TE + ER	11	9	23	43 (70,5%)
PG + VA, CB, MV	2 0	2 2	11 1	18 (29,5%)

Fonte: SERAFIM e CAVILHAS (1984)

Em que:

TE = Terra

VA = arco

ER = Enrocamento

CB = contrafortes

PG = concreto gravidade

MV = arcos múltiplos

Tabela 3.1.2.b. Distribuição por altura e tipo de barragem.

TIPOS DE BARRAGEM	< 15 M	15 A 30 M	30 A 50 M	50 A 100 M	> 100 M
De todos os tipos	6 (9,8%)	31 (50,8%)	15 (24,67%)	7 (11,5%)	
TE + ER	5	21	9	6	1
PG + VA, CB, MV	1 0	8 2	5 1	1 0	- -

Fonte: SERAFIM e CAVILHAS (1984)

Tabela 3.1.2 c. Distribuição por data de inauguração e tipo de barragem.

TIPOS DE BARRAGEM	< 1900	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970
		A 1909	A 1919	A 1929	A 1939	A 1949	A 1959	A 1969	A 1979
Todos os tipos	17 27,9%	2 3,3%	11 18%	6 9,8%	3 4,9%	3 4,9%	6 9,8%	8 13,1%	5 6,6%
TE + ER	9	2	7	2	3	3	6	7	5
PG + VA, CB, MV	8 0	-	4 0	2 2	-	-	-	1 0	-

Fonte: SERAFIM e CAVILHAS (1984)

Tabela 3.1.3. Distribuição da taxa de falhas (depois primeiro enchimento) e barragens existentes pela data de inauguração e tipo de barragem.

TIPOS DE BARRAGEM	< 1900	1900 A 1909	1910 A 1919	1920 A 1929	1930 A 1939	1940 A 1949	1950 A 1959	1960 A 1969	1970 A 1979
Todos os tipos	12,7 X 10 ⁻³	2,0 X 10 ⁻³	11,5 X 10 ⁻³	4,8 X 10 ⁻³	1,5 X 10 ⁻³	2,8 X 10 ⁻³	1,8 X 10 ⁻³	0,4 X 10 ⁻³	-
TE + ER	8,0 X 10 ⁻³	3,0 X 10 ⁻³	14,9 X 10 ⁻³	3,5 X 10 ⁻³	2,6 X 10 ⁻³	5,1 X 10 ⁻³	2,9 X 10 ⁻³	0,9 X 10 ⁻³	-
PG + VA, CB, MV	42,0 X 10 ⁻³	-	10,0 X 10 ⁻³	4,4 X 10 ⁻³ + 8,7 X 10 ⁻³	-	-	-	-	-

Fonte: SERAFIM e CAVILHAS (1984)

COMBELLES (1984) produziu um relatório que mostra 126 reparos feitos em grandes barragens que eram operadas pela Electricité de France, entre 1961 e 1983. Muitas vezes, as anomalias que requereram estes reparos foram detectadas durante inspeções visuais ou por meio da medição dos vazamentos. Porém, os operadores foram também levados a melhorar muitas barragens depois de uma revisão das estruturas hidráulicas. Metade dos casos reportados era de deterioração das barragens e seguido pelo reparo de pequenos defeitos ou melhoria nas barragens (projeto falho ou má construção). Os reparos mais freqüentes eram: reforço das fundações, melhoramento nas comportas de fundo ou impermeabilização do corpo da barragem.

MURTHY (1986) fez uma avaliação da segurança em barragens na Índia e segundo seus estudos, os acidentes eram causados pelos seguintes fatores:

- ✓ Vazamento e infiltração do maciço, no primeiro enchimento e também durante a operação;
- ✓ Vazamento através das barragens de alvenaria durante o primeiro enchimento e também durante a operação devido à deterioração da argamassa de cimento, em barragens antigas;
- ✓ Fluxo de água contínuo que se formou abaixo do vertedor;
- ✓ Reatividade dos agregados alcalinos foi descoberta em uma das barragens construída em concreto, em 1957;
- ✓ Quebra da vedação de PVC / borracha nas juntas dos blocos e vazamentos nas galerias de drenagem.

O Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB), órgão brasileiro, lançou, em 1986, um manual sobre a segurança em barragens e identificou os principais itens a serem inspecionados numa barragem, como indicado na tabela 3.1.4.

Tabela 3.1.4. Relação de itens a serem inspecionados em barragens.

	P: Projeto	C: Construção	O: Operação	A: Abandono
RELAÇÃO DE ITENS A SEREM VERIFICADOS	P	C	O	A
1 – Generalidades:				
▪ Metodologia de Projeto	X	X	X	X
▪ Metodologia de Construção	X	X		X
▪ Metodologia de Operação	X		X	
▪ Aspectos organizacionais, administrativos e legais	X	X	X	X
▪ Aspectos financeiros	X	X	X	X
▪ Documentação Técnica	X	X	X	X
▪ Alterações, ampliações e reparos	X	X	X	
▪ Rios Internacionais	X	X	X	X
▪ Atualização de regulamentos e procedimentos	X	X	X	
▪ Treinamento	X	X	X	
2 – Hidrologia e Hidráulica:				
▪ Métodos e critérios de projeto	X	X	X	X
▪ Dados hidrológicos	X	X	X	
▪ Cheias	X	X	X	X
▪ Desvio do rio	X	X		X
▪ Restrições operacionais	X	X	X	X
▪ Particularidades hidráulicas	X	X	X	X
▪ Condições a jusante	X	X	X	X
▪ Condições a montante	X	X		
3 – Geologia e Geotecnia:				
▪ Investigações	X	X	X	X
▪ Métodos e critérios de projeto	X	X		
▪ Estabilidade das escavações e fundações	X	X	X	X
▪ Materiais de Construção	X	X		
▪ Barragens de terra e enrocamento	X	X	X	X
▪ Barragens de rejeito	X	X	X	X
▪ Carregamento / Fatores de Segurança	X	X	X	X
▪ Percolação / Infiltração	X	X	X	X
4 – Estruturas:				
▪ Métodos e critérios de projeto	X	X	X	X

CONTINUAÇÃO:

▪ Materiais de Construção	X	X		
▪ Carregamento / Fatores de Segurança	X	X	X	X
▪ Deterioração estrutural	X	X	X	X
▪ Percolação / Infiltração	X	X	X	
▪ Deformações	X	X	X	X
▪ Sistema de drenagem e esgotamento		X	X	
5 – Equipamento elétrico e mecânico:				
▪ Critérios de projeto	X	X	X	
▪ Arranjo operacional	X	X	X	
▪ Manutenção preventiva	X	X	X	
▪ Acionamento regular de emergência	X	X	X	
▪ Peças de reposição			X	
▪ Equipamento de emergência	X	X	X	
6 – Reservatórios:				
▪ Enchimento do reservatório	X	X	X	
▪ Trânsito de cheias	X	X	X	
▪ Estabilidade das margens	X	X	X	X
▪ Assoreamento	X	X	X	X
▪ Alerta de cheias	X	X	X	X
▪ Segurança ambiental	X	X	X	X
7 – Instrumentação e Auscultação:				
▪ Critérios e métodos	X	X	X	
▪ Hidrometria	X	X	X	X
▪ Monitoramento das obras de terra e enrocamento	X	X	X	X
▪ Monitoramento das obras de concreto	X	X	X	X
▪ Monitoramento das fundações e ombreiras	X	X	X	
▪ Monitoramento Ambiental	X	X	X	X
8 – Sismologia:				
▪ Solicitação por abalos sísmicos	X	X	X	
▪ Sismicidade induzida	X	X	X	
▪ Monitoramento sísmico	X	X	X	
9 – Inspeção:				
▪ Inspetores e equipes de inspeção	X	X	X	X
▪ Programa de inspeções	X	X	X	X
▪ Métodos e rotinas de inspeção	X	X	X	X
▪ Resultados de inspeção e sua utilização	X	X	X	X
▪ Relatórios / documentação / registro	X	X	X	
▪ Níveis de informação / decisões		X	X	X
10 – Acidentes e Incidentes:				

CONTINUAÇÃO:

▪ Investigação e avaliação	X	X	X	X
▪ Reparos / restabelecimento de condições seguras	X	X	X	X
▪ Medidas de precaução	X	X	X	X
▪ Lições / documentação / registro / divulgação		X	X	
11 – Planos e Precauções de Emergências:				
▪ Classificação de emergências	X	X	X	
▪ Plano de operação de emergência	X	X	X	
▪ Sistema de alarme de emergência	X	X	X	
▪ Esquema de comunicação de emergência	X	X	X	
▪ Processo e procedimentos de decisão em situações de emergência	X	X	X	
▪ Acessos em situações de emergência	X	X	X	
▪ Treinamento para operações de emergência	X	X	X	

Fonte: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (1986)

Segundo o EUA – Design of Small Dams (1987), a avaliação e exames periódicos de barragens e reservatórios é de suma importância para a segurança da população. A intenção de conduzir exames e avaliações periódicos é para que se possa revelar situações aonde um acidente possa prejudicar as operações ou ameaçar a segurança da barragem, cedo o suficiente para que se possa corrigi-los. Toda barragem deve passar pelas seguintes etapas de avaliação:

- Avaliações de Segurança Periódicas (a cada três anos);
- Análises Técnicas:
 - ✓ Classificação geral de segurança;
 - ✓ Qualificação dos perigos a jusante;
 - ✓ Análise das questões hidrológicas / hidráulicas;
 - ✓ Análise das questões geológicas;
 - ✓ Análise das questões geotécnicas;
 - ✓ Análise das questões estruturais.

Esta obra é de suma importância no assunto de segurança de barragens, visto que na falta de uma legislação específica no assunto, muitas vezes ele é utilizado como guia. Posteriormente, ele será novamente mencionado no capítulo Materiais e Métodos, desta dissertação.

DUSCHA (1989) estabelece que a segurança de barragens depende de fatores sociais-econômicos-políticos, mais até do que fatores técnicos. Alguns desses fatores são:

- ✓ a sofisticação técnica, social e econômica do país;
- ✓ o tamanho do país e a grandeza econômica;
- ✓ o grau atingido de desenvolvimento;
- ✓ a prioridade econômica do governo no período em questão;
- ✓ a força da legislação concernente à segurança em barragens;
- ✓ o valor da vida;
- ✓ as questões culturais relativas a eventos catastróficos, como enchentes;
- ✓ a capacidade do corpo técnico e os recursos dedicados à segurança de barragens.

Existem numerosos parâmetros que envolvem a determinação do risco relativo de falha de uma barragem, comparando-se umas às outras. Alguns desses parâmetros são:

- ✓ a população a jusante da barragem que pode ser afetada por um rompimento;
- ✓ a distância, a jusante, de centros populacionais;
- ✓ o período de retorno que foi levado em consideração no projeto;
- ✓ capacidade da barragem de resistir aos galgamentos;
- ✓ qualquer evidência de falha estrutural na barragem;
- ✓ atividades sísmicas que a barragem poderá enfrentar;
- ✓ a altura da barragem;
- ✓ a capacidade de armazenamento do reservatório; e
- ✓ o impacto da falha a jusante e nas populações adjacentes e suas possíveis reações à falha na barragem.

Resumindo, o que ele entende por ser um bom programa de segurança em barragens seria:

- ✓ os proprietários das barragens devem reconhecer suas responsabilidades e serem responsáveis pelas ações de segurança;

- ✓ uma legislação adequada e aplicável, que inclua a exata medida de responsabilidade e autoridade, identificando alguma entidade governamental como responsável pela segurança e bem estar dos cidadãos;
- ✓ um comprometimento de líderes políticos para prover recursos necessários – mão-de-obra e fundos – para sustentar um programa seguro;
- ✓ deverá ter um encarregado e/ou responsável pelo programa de segurança da barragem, na entidade governamental;
- ✓ incorporação das mais modernas tecnologias e conhecimentos em projetos existentes e a serem construídos;
- ✓ assegurar-se de que todo projeto seja revisado por um técnico independente;
- ✓ assegurar-se de que todos os projetos sejam operados de acordo com o plano regulador e que sejam protegidos de interesses externos danosos;
- ✓ prover a inspeção de barragens com pessoal capacitado e bem treinado;
- ✓ prover inspeções periódicas em todas as fases do projeto por equipes com experiência;
- ✓ prover um programa de manutenção e reabilitação de barragens.

Segundo VELTROP (1991), a idade de uma barragem é um dos fatores primordiais para a determinação das condições de segurança. Deterioração das estruturas podem ser causadas pelos efeitos do tempo nos materiais de construção, infiltrações no concreto, reação de agregados alcalinos nas estruturas de concreto e ainda corrosão das partes metálicas da estrutura. Ainda, apresenta a tabela 3.1.5, em que as principais causas de falhas reportadas em 103 barragens são listadas.

Tabela 3.1.5. Causas de Rupturas em Barragens.

RAZÕES	%
Galgamento	26
Vazamentos e <i>Piping</i> no Aterro	22
Erosão do Leito	17
Vazamentos e <i>Piping</i> na Fundação	17
Deslizamento	6
Deformação	6
Outras	6

Fonte: VELTROP (1991)

BONAZZI (1991) analisou algumas barragens, fez considerações e salientou os problemas típicos em barragens. Entre estes podem ser destacados:

a) Fundações:

As fundações devem ser examinadas sob vários pontos de vista como:

- ✓ vedação (à prova d'água): trabalhos de vedação especial justificado simplesmente pelo volume de água poderão ser necessários se o vazamento for grande.
- ✓ estabilidade: a instabilidade da fundação se manifesta na forma de deslizamentos ou tubagem. A solução é sempre otimizar a capacidade dos filtros e geralmente envolve um ou ambos procedimentos: reforçar ou mesmo refazer o rejunte das paredes e desentupir e/ou limpar os drenos ou instalar drenos novos.

Fundações de barragens em arco podem dar margem a problemas de estabilidade quando o concreto continua a contrair-se ao longo do tempo, após a vedação dos blocos. Vedação para consolidação e mesmo reforço na estrutura básica / escoramento são também soluções possíveis.

b) Deslizamentos para dentro dos reservatórios:

Há casos complexos em que deslizamentos para dentro do reservatório começam perto da barragem, ameaçando obras, tais como, a entrada de túneis. Como exemplos, BONAZZI (1990) cita o Bou Hanifia na Argélia e o Derbendi Khan, no Iraque.

c) Falta de equipamento de Monitoração:

Quando se lida com barragens existentes, freqüentemente, confronta-se com a ausência total ou parcial de instrumentação. Equipamentos adequados devem, portanto, serem instalados antes que um diagnóstico confiável possa ser dado. Os equipamentos mais importantes são: a) medidores de vazão; b) piezômetros e c) medidores de infiltração na fundação e pêndulos, se possível. Os mesmos instrumentos serão usados para monitoramento depois da consolidação da barragem.

O modo mais rápido e menos dispendioso pelo qual se dá o melhoramento e o restabelecimento a um grau adequado em termos de segurança de uma barragem, seria o rebaixamento do nível d'água do reservatório, segundo BONAZZI (1991).

DANILEVSKY (1992) apresenta as diretrizes e legislação adotada nos EUA relativa à segurança de barragens. A ruptura de cinco barragens entre 1972 e 1976, causando perdas de vidas humanas e prejuízos materiais, levou o governo a criar uma lei que permitia inspecionar e inventariar as barragens não federais ainda em 1972. Em 1997, foi aprovado o “National Dam Safety Act”. Em 1992, do total de 67.471 barragens do país com altura igual ou maior que 7,62 metros, somente 2.886 ou 4%, eram federais. No item 3.3 deste capítulo, as questões de legislação serão amplamente discutidas.

De acordo com KUPERMAN *et al* (1995), a operação de um programa eficiente de segurança em barragens pode ser tanto um desafio administrativo como técnico. Para ser eficiente em termos técnicos, o programa deve incluir avaliações que forneçam aos administradores, bases confiáveis tanto de dados físicos das estruturas quanto do risco real que elas apresentam. Para ser economicamente viável, o programa deve assegurar que os recursos para segurança serão disponibilizados onde serão melhores aproveitados. Os presentes autores desenvolveram a metodologia de avaliação de segurança de barragens utilizada pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP).

A SABESP possui e opera mais de 125 barragens. Estas barragens incluem uma gama enorme de tipos, tamanhos e condições geológicas. Para administrar todas essas barragens, a companhia fez uso da metodologia para avaliação de segurança de barragens desenvolvida por KUPERMAN *et al* (1995), porém, em 1995, somente a tinha aplicado em 24 barragens situadas na região da Grande São Paulo.

A metodologia desenvolvida está ajudando os administradores de barragens a tomar decisões consistentes e confiáveis no que concerne às condições dessas barragens. Se combinado com um programa de inspeções regulares, testes e estudos técnicos, pode ser considerada uma ferramenta eficiente para a administração de barragens seguras e de uma forma econômica.

No que concerne aos critérios a serem avaliados, depara-se com uma realidade das condições de segurança no Brasil e outros países. As plantas de projeto, relatórios e outras documentações não são frequentemente encontrados em barragens antigas. Quando a informação existe, a qualidade da informação não é suficientemente boa para uma análise criteriosa. Avaliações precisas da condição e comportamento da barragem necessitam de inspeções cuidadosas, armazenamento de dados detalhados e análises de dados de instrumentação. É muito difícil avaliar a performance de uma barragem sem informações de projeto, construção e comportamento ao longo dos anos.

GUERRA (1996) define a segurança de barragens como sendo sua capacidade máxima de resistir à variação das características operacionais e funcionais, oferecendo determinado grau de confiabilidade, o qual projeta a durabilidade do empreendimento segundo parâmetros técnicos, físicos e econômicos. Já o controle de segurança de barragens é entendido como o conjunto de atividades de observação, cálculo, análise e diagnóstico das condições de existência e de funcionamento, o que equivale a acompanhar o seu desempenho, desde o processo de projeto, passando pelo período construtivo até o fim de sua vida útil, detendo-se no cumprimento satisfatório das respectivas finalidades, das novas características do empreendimento, como um todo, e da região em que está edificado.

O autor procura fazer uma diferenciação entre ruptura e acidentes. Ruptura é o rompimento total ou parcial da estrutura, resultando na necessidade de reconstrução, paralisação da operação, interrupção do retorno do investimento e, geralmente, com o esvaziamento total do reservatório. Entende-se por acidentes problemas decorrentes de comprometimento parcial, geralmente localizados, afetando com maior ou menor gravidade a integridade física e o fator de segurança.

GUERRA (1996) ainda discorre sobre o interesse das observações, ainda que sejam as decorrentes de inspeções ou as realizadas por meio das campanhas de leitura da instrumentação instalada, que recai sobre a necessidade de se estabelecer, com muita confiança, ampla correspondência entre os controles efetuados e sua analogia com o comportamento e desempenho das barragens, tais como:

- ✓ previsibilidade de comportamento, de instrumentos e de estruturas;
- ✓ confiabilidade das leituras e registros;
- ✓ correspondência entre as observações e a realidade;
- ✓ traduzir futuros cenários, em tempo oportuno, antevendo tendências de comportamento e reduzindo a possibilidade da ocorrência de acidentes ou rupturas por meio de medidas preventivas;
- ✓ manter as características de funcionamento dentro de patamares aceitáveis de segurança;
- ✓ definir níveis de segurança operacionais para as várias combinações das condições de solicitações;
- ✓ manter um banco de dados atualizado e indicativo dos controles e rotinas básicas;
- ✓ associar os vários tipos de instrumentos entre si, com base em referenciais de carregamento, estabelecendo correlações que permitam, com um mínimo de investigações, cobrir o máximo possível de informações;
- ✓ reduzir os custos e equipes envolvidas; e
- ✓ ação preventiva constante.

A preocupação com o rompimentos e falhas em barragens é tamanha que MARCHE *et al* (1997) fizeram uma simulação de rompimento de barragens dispostas em forma de cascata. Este estudo foi baseado no fato de que a maioria dos projetos para utilização de cursos d'água implica na criação de um lago ou reservatório para que se possa gerar energia elétrica, abastecimento de água e/ou para fins de lazer; tais lagos e reservatórios são, muito freqüentemente, objetos de estudo que se relacionam com as conseqüências de rompimentos em barragens.

Contudo, o objetivo do estudo é avaliar o impacto de tamanha catástrofe nas áreas povoadas a jusante, que podem estar no caminho da onda de cheia resultante do rompimento. Os resultados podem ser utilizados na tomada de medidas de proteção que assegurem a segurança das áreas a serem afetadas, como também para se desenvolver procedimentos emergenciais de evacuação. Portanto, foi desenvolvida uma metodologia que é baseada em várias ferramentas numéricas que avaliam, o mais precisamente possível, os riscos associados a uma possível falha de um reservatório dentro do sistema. O pacote de simulação inclui três análises diferentes: 1^a

faz-se uso do procedimento padrão do nível de água represado baseado na equação da continuidade e armazenamento – relações entre vazões; a 2ª e o 3ª são baseadas, respectivamente, em modelos unidimensionais e bidimensionais formulados a partir das equações dinâmicas completas.

A comparação entre a simulação numérica e os dados obtidos pelos autores em laboratório num modelo físico em escala reduzida validaram a metodologia empregada. A implementação da metodologia proposta pode prover resultados úteis que podem assessorar os engenheiros na fase de elaboração do projeto, ao mesmo tempo em que será útil para a Defesa Civil, que é responsável pelo desenvolvimento de procedimentos de evacuação de emergência.

Em 1998, a ALBERTA ENVIRONMENTAL PROTECTION, órgão governamental da Província de Alberta, Canadá, lançou o manual denominado *Inspection of Small Dams* – Inspeção de Pequenas Barragens. O manual provê informações e diretrizes para a execução de inspeções visuais em pequenas barragens e é destinado aos proprietários destas estruturas a fim de auxiliá-los a identificar se a mesma está oferecendo algum risco de rompimento ou falha. Caso identifiquem algum dos problemas apresentados no Manual, um engenheiro deve ser chamado para sanar o problema.

Segundo este manual, a necessidade da segurança em barragens provém do fato destas estruturas oferecem riscos. Os benefícios serão inúmeros com a adoção programas de inspeções regulares, até mesmo para pequenas barragens, tais como: ser capaz de reconhecer problemas em estágios iniciais e eliminá-los antes de se tornarem complexos e minimizar riscos de perda de vida e bens materiais a jusante.

Segue ilustrações que auxiliam na identificação dos problemas encontrados em barragens, as causas e conseqüências das anomalias. A figura 3.1.1 indica o caso de deslizamento e erosões na área do reservatório.

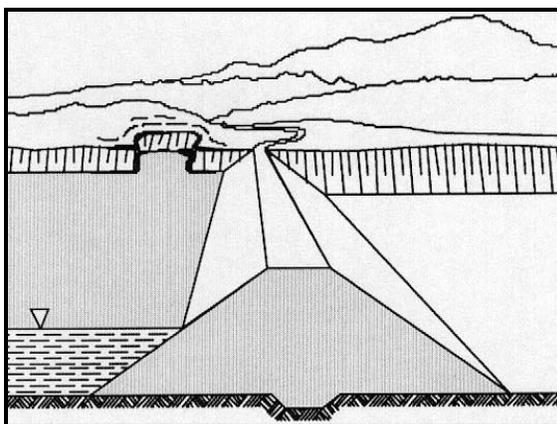


Figura 3.1.1. Deslizamentos e erosões.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Ação do gelo e/ou erosão causada pelas ondas criando inclinações acentuadas.
2. Saturação do pé do talude causado pela água do reservatório.

Conseqüências:

1. O deslizamento pode bloquear o vertedor ou impedir o acionamento das comportas.
2. Ondas causadas pelo deslizamento podem provocar o galgamento.

A figura 3.1.2 indica a flutuação de entulhos e/ou resíduos no reservatório.

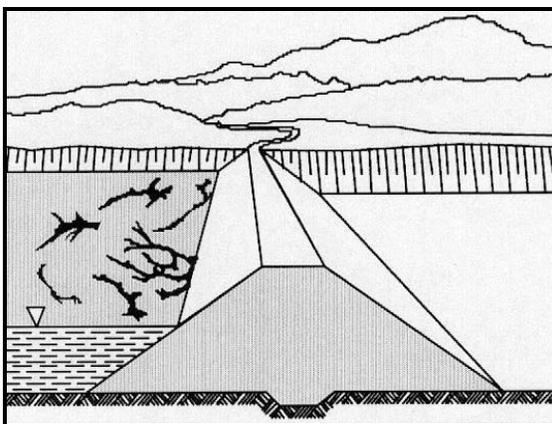


Figura 3.1.2. Flutuação de entulhos / resíduos.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Atividade de castores na bacia de drenagem.
2. Corte de árvores.
3. Coeficiente de escoamento alto.

Consequências:

1. O escorregamento pode bloquear o vertedor ou comportas.

A figura 3.1.3 indica a atividade de castores.

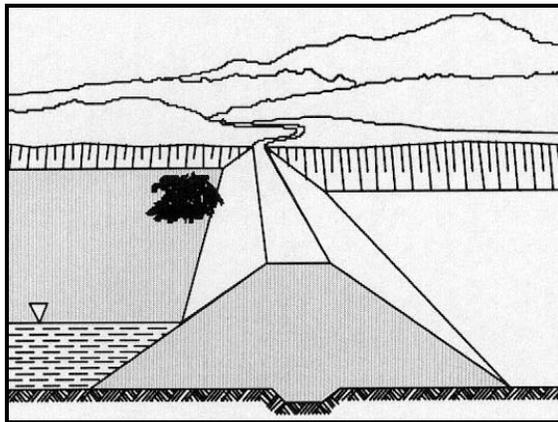


Figura 3.1.3. Atividade de castores.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Atividade de castores ao redor da barragem.

Consequências:

1. A atividade de castores pode bloquear os vertedores e/ou comportas fazendo com que o nível de água suba e transborde pelo barramento.

A figura 3.1.4 indica a erosão por sulcos ao longo da crista.

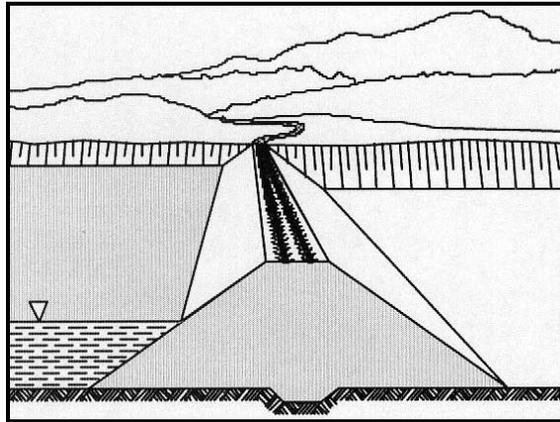


Figura 3.1.4. Erosão por sulcos ao longo da crista.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. A principal causa é a drenagem inadequada na crista, permitindo-se a permanência da água.
2. Passagem de veículos quando a crista está úmida.

Consequências:

1. Permanência da água saturando-se o solo da crista.
2. Veículos que circulam pela crista podem atolar, aumentando ainda mais o estrago.

A figura 3.1.5 ilustra as fissuras longitudinais na crista.

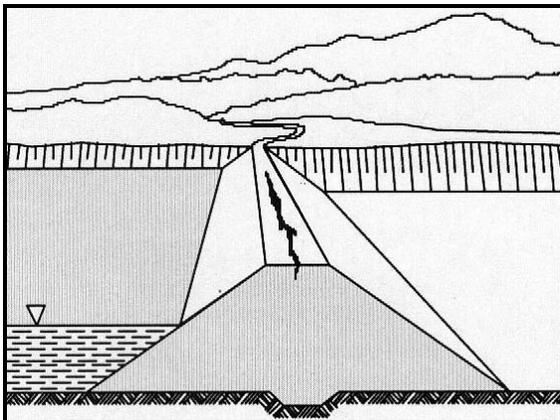


Figura 3.1.5. Fissuras longitudinais na crista.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Compactação não uniforme do aterro ou assentamento da fundação.
2. Instabilidade do talude.

Conseqüências:

1. Provisão de um ponto de entrada para a água o que poderá causar um movimento de terra.
2. Pode reduzir a largura efetiva da crista.

A figura 3.1.6 ilustra as fissuras transversais na crista.

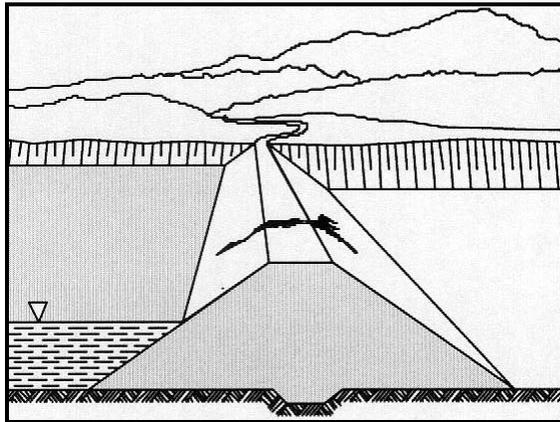


Figura 3.1.6. Fissuras transversais na crista

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Movimento não uniforme entre dois segmentos adjacentes do aterro.
2. Instabilidade no aterro ou fundação.

Conseqüências:

1. Provisão de um ponto de entrada para águas superficiais
2. Pode ocasionar um caminho preferencial para infiltração de água do reservatório e uma potencial ruptura ou falha das tubulações.

A figura 3.1.7 ilustra o assentamento da crista.

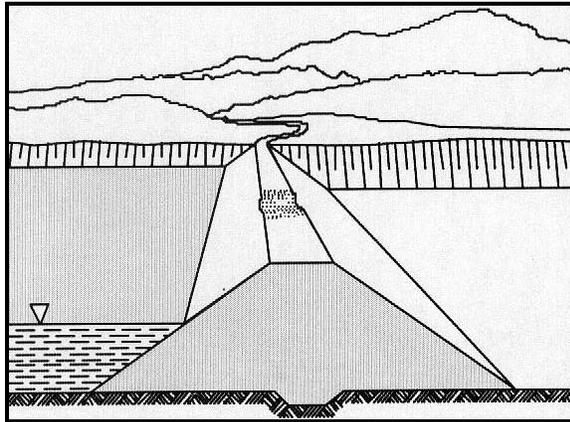


Figura 3.1.7. Assentamento da crista.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Excessiva compactação dos materiais que compõem os taludes ou fundação.
2. Erosão interna dos materiais que compõem os taludes.
3. Erosão prolongada provocada pelo vento ou água.
4. Práticas construtivas deficientes.

Conseqüências:

1. Redução da borda livre.
2. Concentração do fluxo de água em uma área se a barragem sofrer galgamento.

A figura 3.1.8 ilustra o surgimento de orifícios na crista.

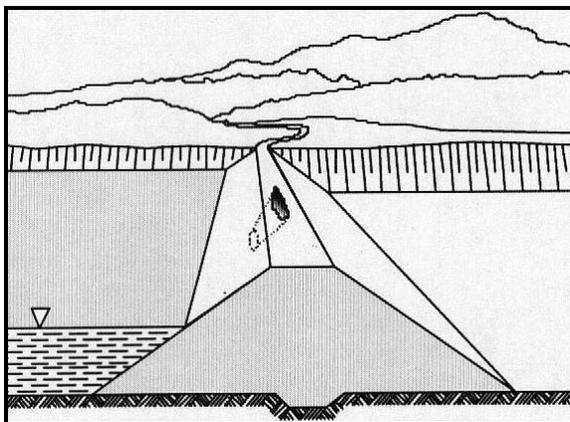


Figura 3.1.8. Orifícios na crista.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Erosão interna devido a vazamentos, como por exemplo, das tubulações.
2. A quebra de argila que se encontra dispersa por meio de vazamentos e carregamento de material fino.

Conseqüências:

1. Erosão ou aumento do tamanho do orifício, provocando instabilidade nos taludes e aparecimento de assentamentos.
2. Provisão de um ponto de entrada para águas superficiais.
3. Dependendo do tamanho e profundidade, pode levar a uma falha da estrutura.

A figura 3.1.9 ilustra a erosão no paramento de montante.

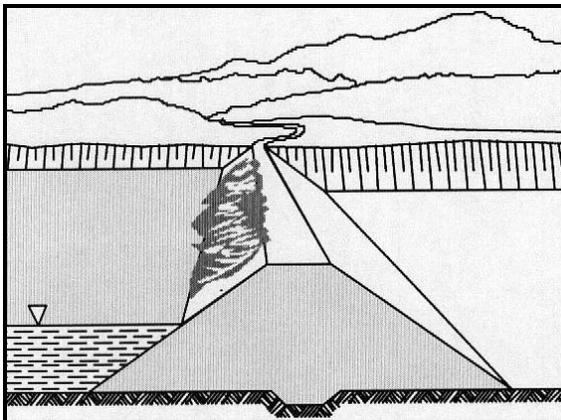


Figura 3.1.9. Erosão no paramento de montante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Ação de ondas ou do gelo.
2. Assentamento local.
3. Proteção contra erosão inadequada.

Conseqüências:

1. Erosão continuada pode reduzir a largura da crista e elevação o que levaria a um possível galgamento.
2. Pode causar infiltração.

A figura 3.1.10 ilustra o deslocamento do *Rip-rap* ou enrocamento de proteção.

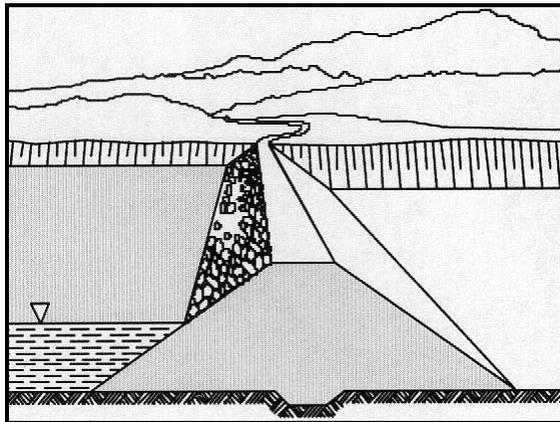


Figura 3.1.10. Deslocamento do *rip-rap* ou enrocamento de proteção.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Ação de ondas ou do gelo.
2. *Rip-rap* de qualidade duvidosa.
3. Pedras do mesmo tamanho, falta de imbricamento, as ondas podem erodir o material que está abaixo da camada de proteção.

Conseqüências:

1. Permite o aumento da erosão que pode reduzir a largura e altura do barramento.

A figura 3.1.11 ilustra as grandes fissuras no paramento de montante.

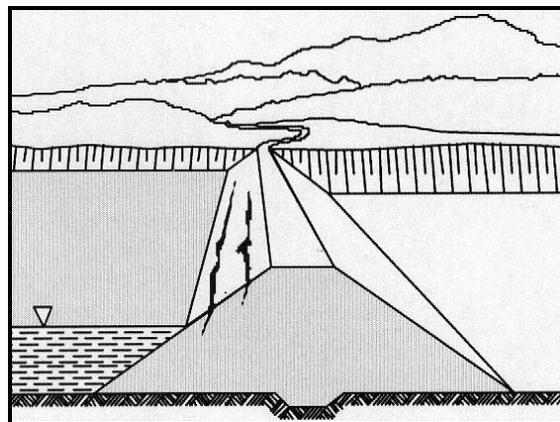


Figura 3.1.11. Grandes fissuras no paramento de montante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Instabilidade do talude.
2. Assentamento diferencial.

Conseqüências:

1. Quase sempre precede uma ruptura no talude ou desmoronamento em larga escala.

A figura 3.1.12 ilustra os deslizamentos ou colapsos no paramento de montante.

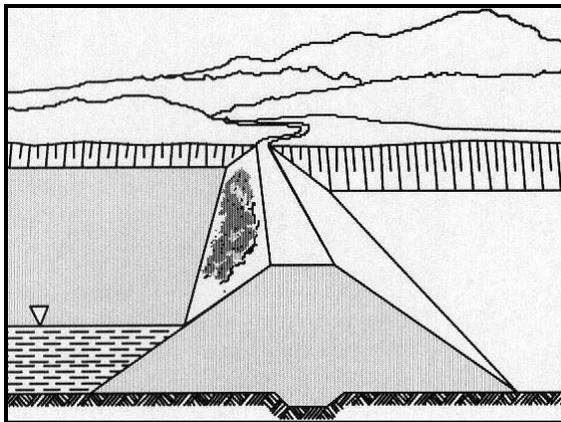


Figura 3.1.12. Deslizamentos ou colapsos no paramento de montante.

Fonte: *Inspection of Small Dams*, 1998.

Causas:

1. Falha na fundação.
2. Taludes muito inclinados.
3. Uma rápida descida do nível d'água do reservatório.

Conseqüências:

1. Pode levar a uma falha ou ruptura da barragem.
2. Resíduos provenientes de deslizamentos podem bloquear as saídas d'água localizadas no nível mais baixo.

A figura 3.1.13 ilustra a infiltração a montante.

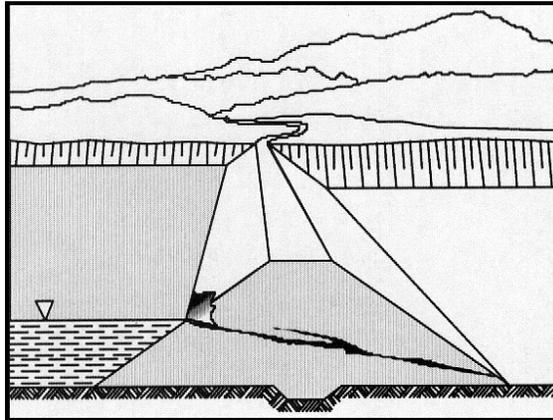


Figura 3.1.13. Infiltração a montante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Erosão interna e *piping* com carregamento de materiais finos, formação de cavidades internas.

Conseqüências:

1. Ruptura interna.

A figura 3.1.14 ilustra as fissuras longitudinais no paramento de jusante.

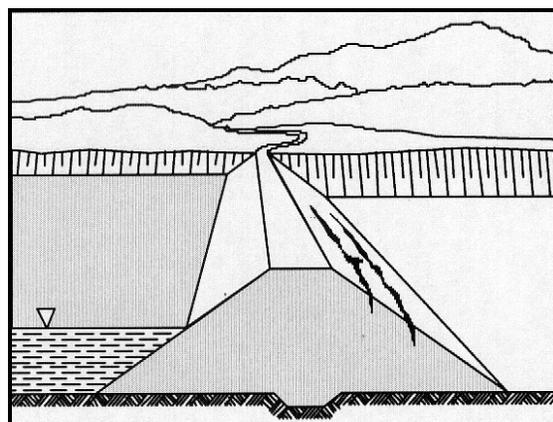


Figura 3.1.14. Fissuras longitudinais no paramento de jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Material do talude muito seco, retração.
2. Assentamento do talude ou fundação.
3. Instabilidade do talude.

Conseqüências:

1. Provisão de um ponto de entrada de águas superficiais.
2. Pode ser um aviso prévio que o talude está para romper, deslizar ou erodir.

A figura 3.1.15 ilustra o deslizamento ou colapso no paramento de jusante.

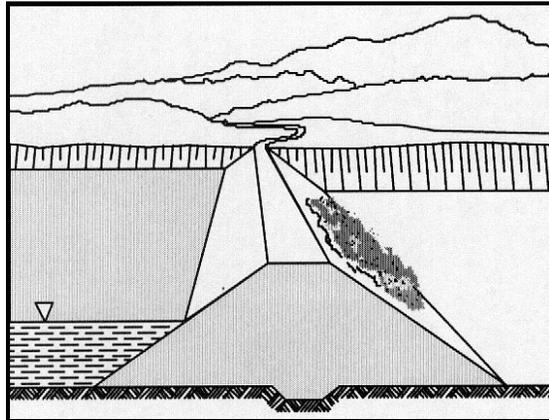


Figura 3.1.15: Deslizamento ou colapso no paramento de jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Talude muito inclinado.
2. Perda de resistência do material do talude devido à infiltração excessiva.

Conseqüências:

1. Pode causar desmoronamento.
2. Pode causar falha da estrutura.

A figura 3.1.16 ilustra as infiltrações no paramento de jusante.

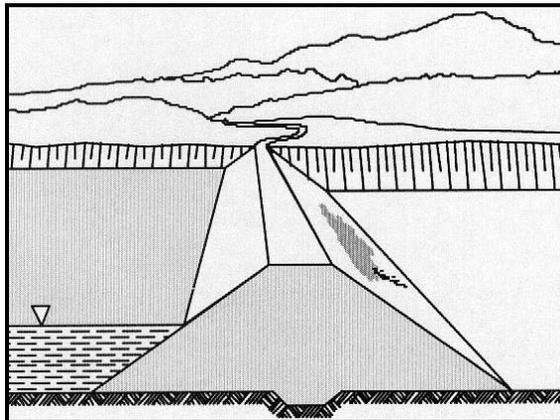


Figura 3.1.16. Infiltrações no paramento de jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Infiltração através do barramento ou por baixo da fundação.
2. Água superficial entra por meio de fissuras ou cavidades oriundas de atividade animal.

Conseqüências:

1. Proporciona a instabilidade do talude o que pode causar uma falha da estrutura.
2. Indica uma possibilidade de falha na tubulação de drenagem.

A figura 3.1.17 ilustra a formação de cavidades ou colapso no paramento de jusante.

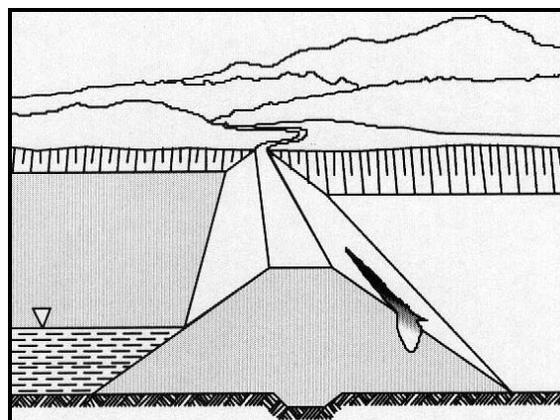


Figura 3.1.17. Formação de cavidades ou colapso no paramento de jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Compactação mal feita durante a construção.
2. Erosão interna / caminhos d'água através do corpo da barragem ou fundação.
3. Atividade animal.

Conseqüências:

1. Pode aumentar vazamentos.
2. Indica uma falha potencial da estrutura.

A figura 3.1.18 ilustra a erosão no paramento de jusante.

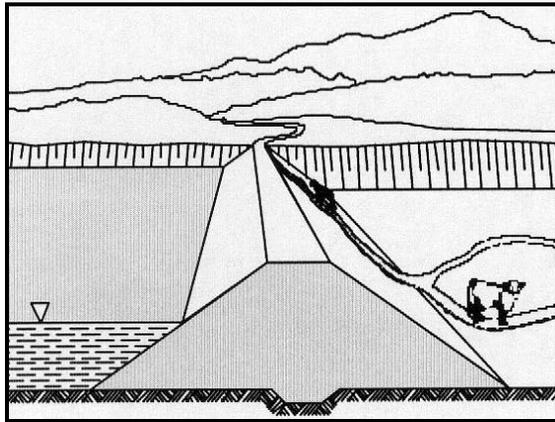


Figura 3.1.18. Erosão no paramento de jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Passagem de animais.
2. Escoamento superficial da água da chuva.

Conseqüências:

1. Indica locais de futura erosão.

A figura 3.1.19 ilustra a infiltração de água no sopé a jusante.

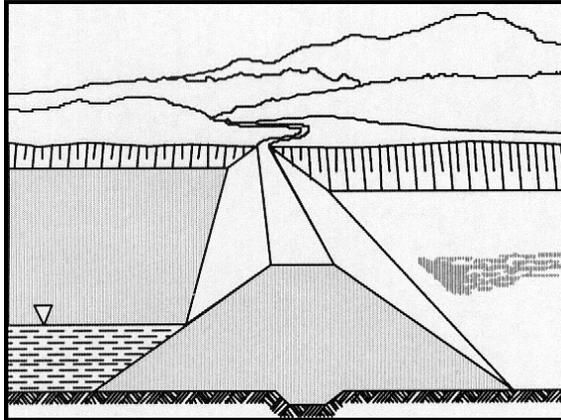


Figura 3.1.19. Infiltração de água no sopé a jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Um vazamento localizado ou um *piping* se formou através da fundação.
2. Infiltração do reservatório através da camada areia ou cascalho na fundação.

Conseqüências:

1. Pode resultar na falha da tubulação existente na fundação e depois na tubulação presente no corpo da barragem.

A figura 3.1.20 ilustra a água parada no sopé a jusante

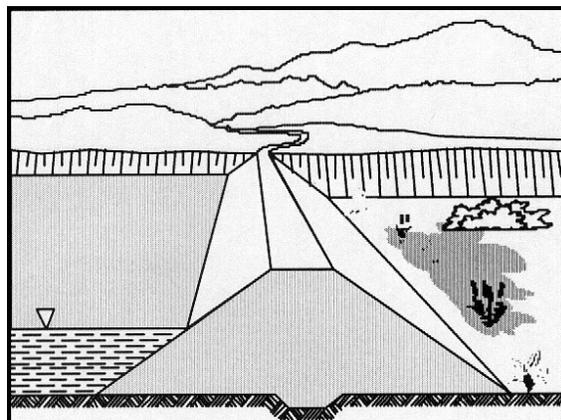


Figura 3.1.20. Água parada no sopé a jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Infiltração excessiva.
2. Escoamento superficial da água da chuva.
3. Drenagem deficiente.

Consequências:

1. Taxas de fluxo difíceis de se estimar.
2. Saturação e desestabilização do talude de jusante.
3. Pode resultar na falha ou rompimento do talude.

A figura 3.1.21 ilustra áreas úmidas ou surgências de água no paramento de jusante

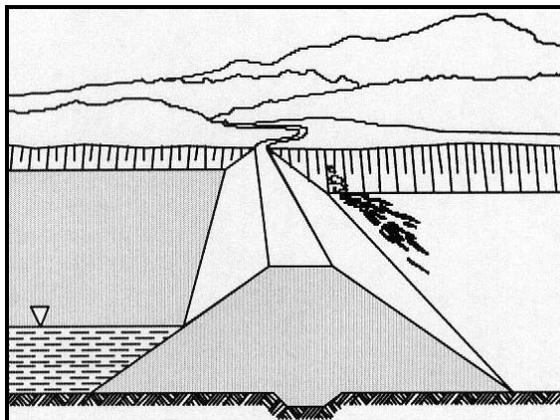


Figura 3.1.21. Áreas úmidas ou surgências de água no paramento de jusante.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Um vazamento ou caminho d'água passando através do corpo da barragem pelo material da interface.

Consequências:

1. Pode resultar o rompimento na tubulação localizado na interface.

A figura 3.1.22 ilustra a inoperabilidade dos equipamentos para a saída de água.

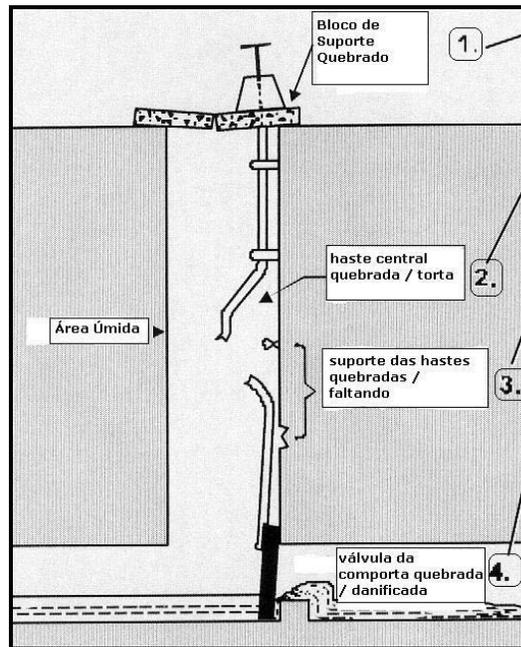


Figura 3.1.22. Inoperabilidade dos equipamentos para a saída de água.

Fonte: modificado de *Inspection of Small Dams*, 1998.

Causas:

1. Deterioração do concreto. Força excessiva aplicada na válvula de controle.
2. Suporte das hastes inadequadas ou quebradas. Falta de manutenção que acarreta no uso de força excessiva na operação das comportas.
3. Falta de manutenção na comporta, provocando a quebra dos suportes e hastes.
4. Corrosão, cavitação, impacto de resíduos trazidos pelo corpo d'água.

Conseqüências:

1. A comporta se torna inoperável, impossibilitando a descarga de água se houver necessidade, além de privar a passagem de um fluxo de água que poderia beneficiar usuários a jusante.
2. Se a comporta está aberta e não pode ser manobrada, os níveis de operação do reservatório não podem ser mantidos e há uma perda / desperdício de água.

A figura 3.1.23 ilustra os principais problemas encontrados nos condutos.

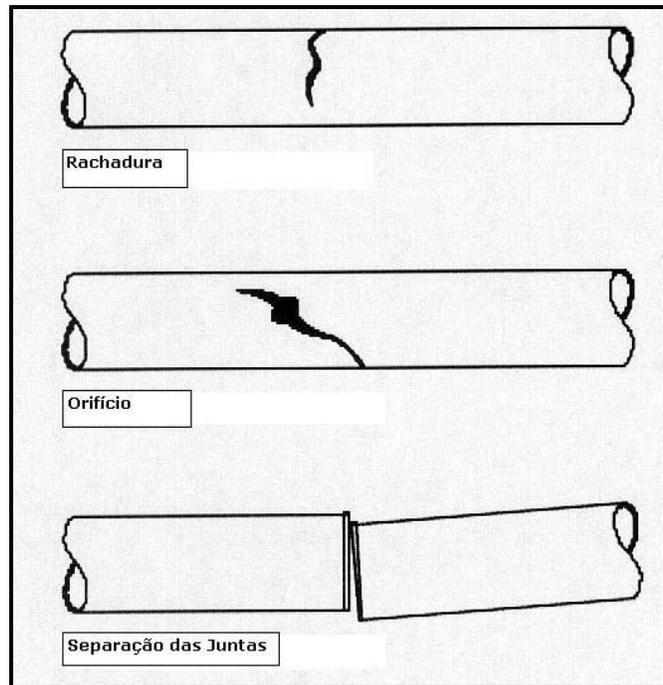


Figura 3.1.23. Problemas nos condutos.

Fonte: modificado de *Inspection of Small Dams, 1998*.

Causas:

1. Ferrugem nos condutos metálicos.
2. Problema nas juntas.

Conseqüências:

1. Pode acarretar erosões internas graves e a possibilidade de uma ruptura na tubulação.

A figura 3.1.24 ilustra a erosão e/ou deslizamentos no canal de restituição.

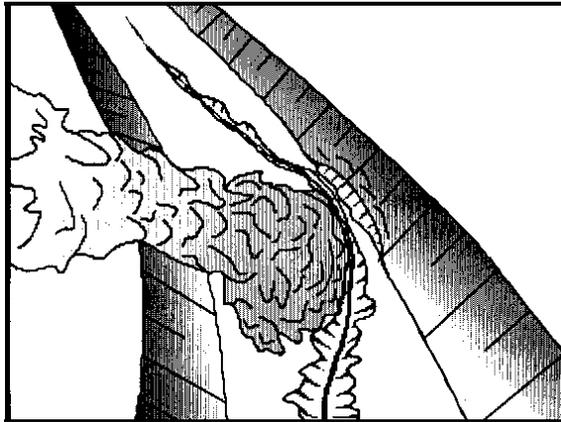


Figura 3.1.24. Erosão / deslizamentos no canal de restituição.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Proteção contra erosão inadequada.
2. Gradiente muito íngreme.

Conseqüências:

1. O canal erodido se aprofunda.
2. Pode causar a drenagem do reservatório através do canal erodido.
3. Deslizamentos de material podem bloquear o canal.

A figura 3.1.25 ilustra o bloqueio do canal de descarga.

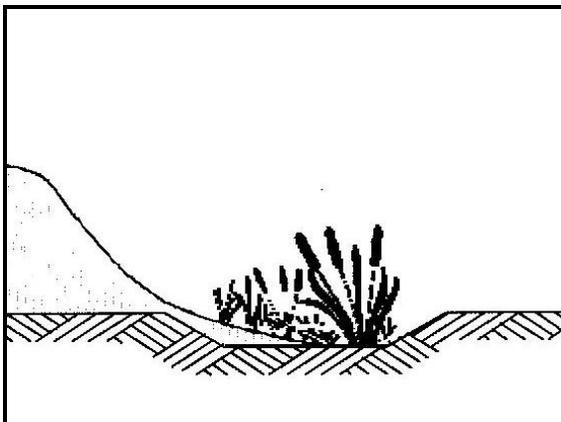


Figura 3.1.25. Bloqueio do canal de descarga.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Resíduos flutuantes.
2. Atividade animal.
3. Intervenção humana.

Conseqüências:

1. Pode restringir a capacidade do vertedor, causando o transbordamento da estrutura.

A figura 3.1.26 ilustra a vegetação excessiva presente nos taludes.

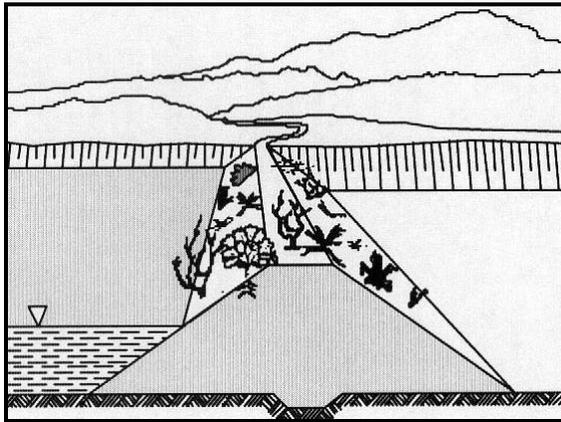


Figura 3.1.26. Vegetação excessiva nos taludes.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Falta de manutenção.

Conseqüências:

1. Prevenção de inspeção adequada.
2. O sistema radicular das plantas pode criar caminhos de infiltração.
3. Se as árvores ou arbustos forem constantemente movimentados pelo vento, o bulbo da raiz pode fazer buracos.
4. Prevenção ao fácil acesso.
5. Provê nichos propícios a animais que fazem tocas.

A figura 3.1.27 ilustra a atividade animal.

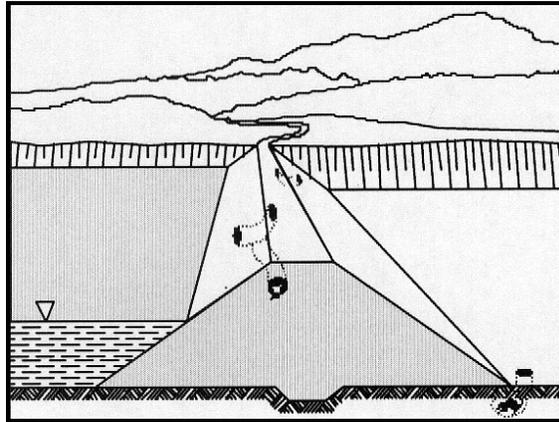


Figura 3.1.27: Atividade animal.

Fonte: *Inspection of Small Dams, 1998.*

Causas:

1. Animais que fazem tocas.

Conseqüências:

1. Pode enfraquecer as estruturas da barragem.
2. Pode causar uma falha na tubulação.

O principal objetivo de um programa de segurança de barragens é que se assegure que as estruturas construídas tenham manutenção e sejam operadas de modo a atender requisitos básicos de segurança. A tabela 3.1.6 apresenta um resumo dos problemas mais comuns observados em pequenas barragens e posterior avaliação que deve ser efetuada anualmente.

Tabela 3.1.6. Problemas freqüentes encontrados em Pequenas Barragens.

LOCALIZAÇÃO / ESTRUTURA	PROBLEMAS	SUGESTÃO DE QUANDO INSPECIONAR
Talude de Montante	Movimentação do talude	Após um rebaixamento rápido do nível d'água no reservatório.
	Deslizamento da proteção do talude.	Após tempestades violentas de vento, gelo ou chuva pesada.
	Crescimento de árvores e arbustos.	A cada ano.
Crista	Assentamento.	Depois de chuvas intensas.
	Formação de sulcos.	Outono
	Crescimento de árvores e arbustos.	A cada ano.
Talude de Jusante	Infiltração.	Quando o volume de água do reservatório estiver no nível máximo ou mais.
	Movimentação dos taludes.	Depois de chuvas intensas.
	Tocas de roedores.	Primavera e Outono.
	Crescimento de árvores e arbustos.	A cada ano.
Sopé de Jusante	Infiltração.	Durante níveis elevados de água no reservatório.
	Saliências ou protuberâncias – indicativo de deslizamentos.	Após níveis elevados de água no reservatório e chuvas intensas.
	Crescimento de árvores e arbustos.	A cada ano.
Vertedor	Entulho bloqueando o vertedor ou estruturas associadas.	Antes do início da estação chuvosa e ao longo de todo o verão.
	Erosão.	Após chuvas intensas ou operação do vertedor.
	Crescimento de árvores e arbustos.	A cada ano.
Saídas d'água	Tubulação.	Durante elevados níveis d'água dos reservatórios e durante operação das saídas d'água.
	Corrosão ou separação das juntas dos condutos.	Inspeção anual (condutos de aço geralmente enferrujam num prazo de 25 a 30 anos).

Fonte: modificado de *Inspection of Small Dams*, 1998.

MATOS ALMEIDA (1998) define a segurança da barragem como sendo a sua capacidade para satisfazer as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes. Distinguindo-se incidente do acidente a partir da gravidade da anomalia, no segundo caso com a possibilidade de conduzir a uma situação de ruptura e consequente onda de cheia.

As obras existentes estão envelhecendo e as preocupações com a preservação da natureza vão crescendo. Barragens já foram construídas nos locais propícios ao estabelecimento de grandes reservatórios, sobretudo nos países que possuem um maior desenvolvimento técnico, científico e econômico. Daí vêm às atenções, no domínio das barragens, na manutenção e segurança das obras existentes. O impulso que também colaborou pela crescente preocupação com a segurança de barragens foi a aquisição de novas informações hidrológicas, novas tecnologias de construção e a constatação de um crescimento das populações nos vales a jusante.

Segundo MATOS ALMEIDA (1998), em Portugal, o Instituto da Água (INAG) vem realizando esforços para a avaliação da segurança das barragens e suas ações têm se concentrado na: apreciação de projetos, inspeção de barragens, campanhas de observação e inspeção visual, obras de reparação e de conservação, emissão do livro técnico da obra e outras intervenções.

O estudo sobre a segurança das barragens começa pela: análise de todos os elementos disponíveis, recolhimento de dados de base e inspeção detalhada das obras. São então elaborados relatórios da situação e promovidos os trabalhos complementares (fotografias, ensaios e outros) que permitiram propor soluções e respectivos orçamentos. Nesta fase, já é possível propor recomendações para a implementação de medidas imediatas de intervenção. Na figura 3.1.28, há um resumo destes estudos realizados pelo INAG.

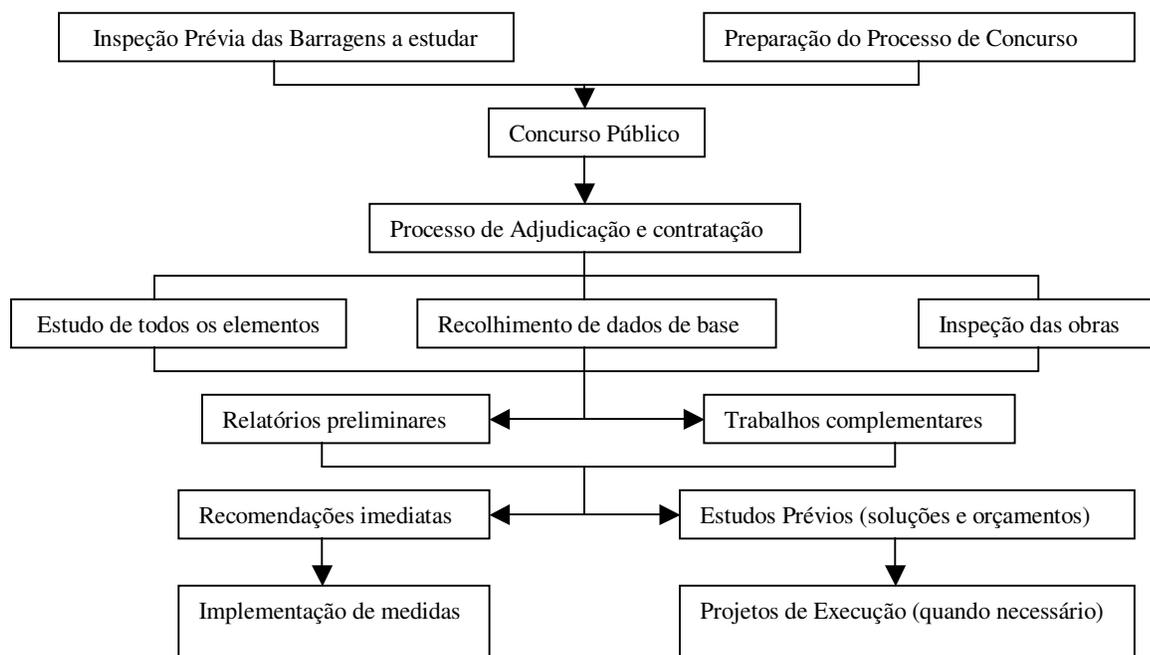


Figura 3.1.28. Organograma de Estudos sobre Segurança de Barragens.

Fonte: MATOS ALMEIDA, 1998.

Vale ressaltar que os concursos públicos têm em vista a elaboração de estudos relativos à segurança estrutural e hidráulico-operacional das estruturas. Contudo, as entidades portuguesas têm esperança que a médio prazo se consiga ter em mãos material suficiente para apresentação e debate da questão da segurança das barragens portuguesas, a fim de se possa contar, cada vez mais, com estruturas seguras.

WAHL (1998) ressalta a importância da elaboração de planos de emergência para a evacuação de áreas e populações envolvidas num projeto de barragens. Segundo ele, o tempo de aviso e evacuação da população situadas em área a jusante de barragens, pode influenciar dramaticamente o número de perdas de vidas humanas em incidentes ou acidentes com barragens.

Na ocasião de se classificar uma barragem quanto ao seu potencial de risco oferecido, preparação de planos de emergência e desenvolvimento de sistemas de alerta / alarme, uma boa estimativa dos referidos tempos - os tempos de aviso e evacuação - se mostram cruciais. Casos históricos baseados em procedimentos desenvolvidos indicam que o número de pessoas que perdem suas vidas pode representar cerca de 0,02% da população situada nas áreas de risco, caso o alerta tenha sido dado 90 minutos antes da chegada da onda de cheia; este número sobe para 50% quando este tempo cai para 15 minutos. Segundo WAHL, estudos mostram que a média de ocorrência de fatalidades devido à ruptura de barragens é 19 vezes maior quando há um alerta inadequado ou inexistente.

Em 1999, a ICOLD publicou o *Icold Bulletin 109* – Boletim ICOLD nº 109 – e nele constam estatísticas sobre algumas barragens de material solto, com mais de 30 metros de altura, que romperam devido ao galgamento, ao redor do mundo. Dentre todas as barragens deste tipo que romperam e foram estatisticamente computadas, 150 foram construídas antes de 1930 e 2.800 foram construídas após esta data. Como o galgamento é a principal causa de rupturas de barragens, estas estatísticas parecem bastante interessantes.

Nota-se a presença de duas barragens brasileiras: Euclides da Cunha e Sales Oliveira e suas respectivas características de altura, comprimento, volume do reservatório, ano de inauguração, ano de ruptura, tipo de barragem e motivo do rompimento. Tratam-se de barragens de terra, operadas pela CESP, que ainda hoje estão em funcionamento e tem como função a geração de energia hidrelétrica. A tabela 3.1.7 - a ruptura das barragens de material solto que romperam devido ao galgamento entre os anos de 1855 e 1999, traz estas e muitas outras informações.

Tabela 3.1.7. Ruptura de barragens de material solto que romperam devido ao galgamento.

NOME DA BARRAGEM	PAÍS	ANO DA RUPTURA	DATA DE INAUGURAÇÃO DA ESTRUTURA	ALTURA (M)	COMPRIMENTO (M)	VOLUME DO RESERVATÓRIO (HM ³)	TIPO	NÚMERO DE VÍTIMAS / MOTIVO
Torside	Grã Bretanha	1855	1854	31	270	6,7	TE	S
Walnut Grove	EUA	1890	1888	33	120	11	ER	129
Sweetwater	EUA	1916	1911	35	200	54	TE	ND
Lower Otay	EUA	1916	1901	46	170	52	ER	30
Graham Lake	EUA	1923	1922	34	330	220	ND	ND
Kaddam	Índia	1959	1957	40	ND	215	TE	G
Rincon (X)	Paraguay	1959	1945	50	1100	9000	ND	ND
Swift	EUA	1964	1914	57	225	37	TE/ER	19
Dantiwada	Índia	1973	1969	61	137	460	TE	ND
Euclides da Cunha	Brasil	1977	1960	61	312	13	TE	G
Sales de Oliveira	Brasil	1977	1958	40	660	25	TE	U
Tous	Espanha	1982	1980	77	780	50	ER	G 20

Fonte: modificado de ICOLD, 1999.

Em que:

TE = Terra

ER = Enrocamento

ND = Dado não disponível.

U = Barragens que romperam a montante, desencadeando efeito cascata.

G = Não funcionamento das comportas

S = Defeito no vertedor

A ruptura da barragem UHE Euclides da Cunha, em 20 de janeiro de 1977, é considerado um dos mais graves acidentes com barragens no Brasil. Ocorreu devido à má operação da barragem, pois as comportas começaram a ser manobradas tarde demais e dos 10 metros de vão que poderiam ter sido abertos, conseguiu-se abrir apenas 4 metros, conforme ilustrado na tabela 3.1.8 (ICOLD, 1999 e BARRETTI e ANGELI, 2004). Galgou e ocasionou a ruptura da barragem Sales Oliveira também por galgamento, situada a jusante da referida barragem. Muito embora, não se computou a perda de nenhuma vida humana, perdas econômicas consideráveis foram registradas.

Tabela 3.1.8. Dados anteriores e posteriores ao rompimento das barragens de Euclides da Cunha e Sales Oliveira.

BARRAGENS		EUCLIDES DA CUNHA	SALES OLIVEIRA
ACIDENTE	Data do Rompimento	20/01/77 – 4 hs da manhã	20/01/77 – 5 hs da manhã
	Capacidade de Vazão	32%	35%
	Vazão Liberada (m ³ /s)	720	750/800
	Vazão Real (m ³ /s) – adotado na reconstrução	1.700	1.700
	Abertura das comportas.	4 metros de 10 metros	
CAPACIDADE DO PROJETO ORIGINAL	Capacidade de Vazão (m ³ /s)	2.223,5	2.123,5
	Vertedores (m ³ /s)	1.800	1.800
	Turbinas (m ³ /s)	123,5	123,5
	Canal de Desvio (m ³ /s)	300	200
	Base de Projeto (m ³ /s) – adotado no projeto original.	1.200	1.200

Fonte: Barretti e Angeli, 2004.

Segundo KARPOWICZ (2000), a NPS – *National Park Service* ou Serviço Nacional de Parques - gerencia 480 estruturas nos Estados Unidos, que possuem a finalidade de controlar ondas de cheia, e, ainda, monitora 263 estruturas que não pertencem a NPS, as quais estão situadas próximas aos limites do parque. Baseado em informações disponíveis, um total de 144 incidentes foram reportados desde 1981 e ações corretivas ainda estão sendo realizadas em algumas destas barragens. Havia, em 2000, 142 barragens da NPS com sérios problemas de manutenção, de operação, de deficiências estruturais ou de segurança pública, que foram identificados e estão sendo corrigidos de acordo com o orçamento disponível.

Segundo SALAME (2000), a segurança da barragem de Qaraoun, que teve sua construção concluída em 1965, é feita pela EDF – Consultoria e Supervisão da França – e parcialmente financiada por empréstimos feitos pelo Banco Mundial. Qaraoun é a maior barragem construída no Líbano. Trata-se de uma estrutura de enrocamento com 62 metros de altura, 1.100 metros de comprimento e sua crista tem 162 metros de largura. A capacidade total do reservatório é de 220 milhões de metros cúbicos. As observações de operação e manutenção no que concerne o comportamento desta barragem, em termos de segurança, envolvem: a) registros dos níveis piezométricos da água a jusante, uma vez por mês; b) inspeções voltadas à observação da presença de deformações a cada dois anos e c) medição dos níveis de vazamentos na base do maciço.

MARENGO (2000) constata que para se conseguir o financiamento do Banco Mundial para a construção de novas barragens, é necessário adotar algumas medidas prévias. Estas medidas incluem: a avaliação da segurança das barragens existentes, especialmente das estruturas localizadas no mesmo curso d'água, e o desenvolvimento de planos de emergência.

OSMAN (2000) observa que a barragem Aswan, localizada no Egito, tem atendido ao critério original de projeto durante seus 29 anos de operação e nenhum fenômeno imprevisto foi reportado até 2000. É consenso nacional que a barragem Aswan é a espinha dorsal do desenvolvimento sócio-econômico do Egito. Tremendas realizações foram conseguidas por meio da barragem, no campo do controle e gerenciamento da água, na promoção da agricultura, na proteção do país quanto aos perigos de inundações e secas, expansão populacional com o surgimento de novas comunidades, geração de energia hidrelétrica, a chegada de redes de distribuição de energia em zonas rurais e a promoção da industrialização.

Tudo isso, teve um impacto positivo no progresso econômico e social dos egípcios. Além do mais, a barragem de Aswan teve um impacto positivo no rápido crescimento e desenvolvimento da província de Aswan, especialmente no fluxo de turistas e pesca. A província de Aswan passou de uma área provações ao melhor resort de inverno de todo o mundo. Em menos de 10 anos, a construção da barragem Aswan, transformou uma área repulsiva em uma área muito atraente. O que colaborou com o sucesso deste empreendimento foi o monitoramento do comportamento de cada elemento da barragem durante a sua construção e durante a sua operação (OSMAN, 2000).

MCCULLY (2001) constata que o maior desastre mundial relacionado com ruptura de barragens ocorreu na província de Henan, na China, em agosto de 1975. Muito embora as autoridades chinesas conseguiram abafar o caso por quase duas décadas, há indícios de que cerca de 230.000 pessoas tenham perdido suas vidas nesta catástrofe. As barragens de Banqiao e Shimantan foram construídas na bacia do rio Huai, um rio tributário do Yangtze, em meados da década de 50.

Em 5 de agosto, o reservatório Banqiao estava com sua capacidade máxima. As comportas de descarga estavam abertas, porém constatou-se que elas estavam parcialmente

bloqueadas por sedimentos. No dia seguinte o nível do reservatório subiu dois metros acima da sua capacidade considerada segura. Na noite de 7 de agosto, a barragem de Banqiao cedeu e 500 milhões de metros cúbicos de água começaram a invadir vales e planícies a jusante, com uma velocidade de 50 quilômetros por hora. Vilas e pequenas cidades inteiras desapareceram em instantes. A pequena barragem de Shimantan entrou em colapso pouco tempo depois e acredita-se que, ao todo, 62 barragens romperam em consequência do desastre.

Contudo, estima-se que 85.000 pessoas morreram em consequência da onda de cheia acarretada pelo rompimento das barragens e outras 145.000 morreram em consequência de epidemias e fome que assolaram a região nas semanas subseqüentes ao desastre.

MCCULLY ainda descreve que segundo o ICOLD, cerca de 2,2% de todas as barragens construídas antes de 1950 falharam e 0,5% das barragens que falharam, foram construídas após este período. A maioria das falhas ocorre com barragens de pequeno porte e elas constituem a maiorias das barragens construídas. Estatísticas apontam que 2,4% de barragens construídas no período entre 1900 e 1969 e falharam eram de pequeno porte e 1,7% de grande porte. Estes dados explicitamente excluem a China. Somente na China, cerca de 3.200 barragens falharam desde 1950, o que representa 4% das 80.000 barragens cadastradas.

A figura 3.1.19 mostra a distribuição global das barragens por altura.

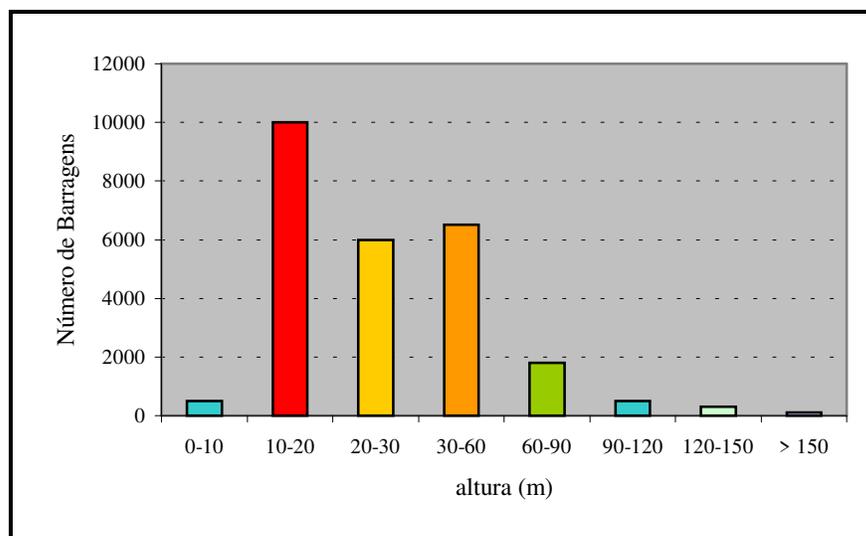


Figura 3.1.29. Distribuição global de barragens por altura (m).

Fonte: WCD, 2001.

A figura 3.1.30 ilustra a distribuição regional de barragens por altura.

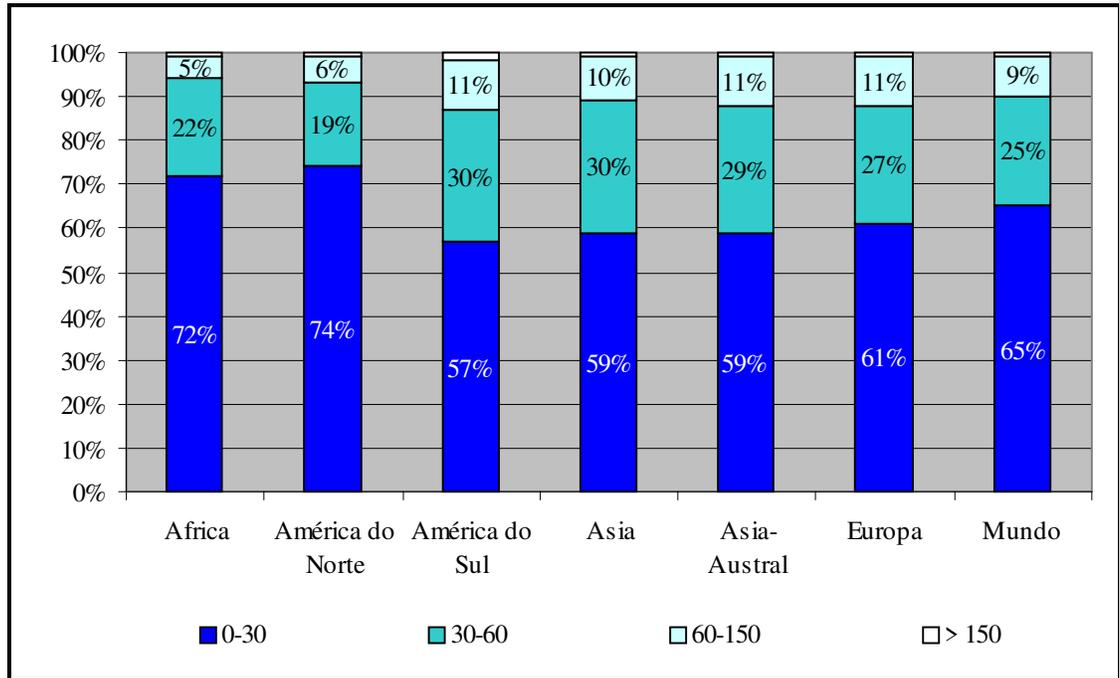


Figura 3.1.30. Distribuição regional de barragens por altura (m).

Fonte: WCD, 2001.

A figura 3.1.31 mostra a distribuição global do volume do reservatório das barragens.

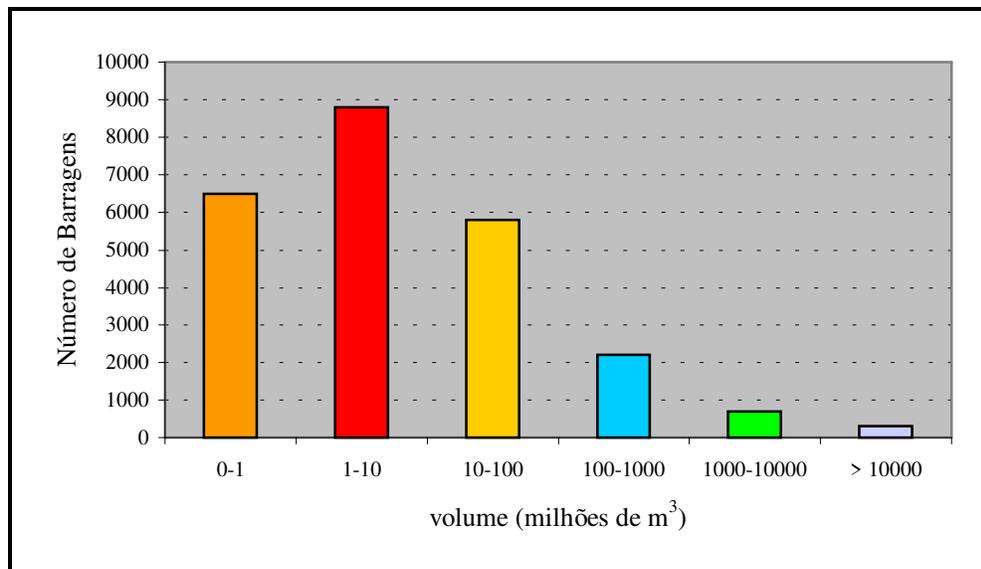


Figura 3.1.31. Distribuição global do volume do reservatório (milhões de m³).

Fonte: WCD, 2001.

A figura 3.1.32 ilustra a distribuição regional do volume do reservatório das barragens.

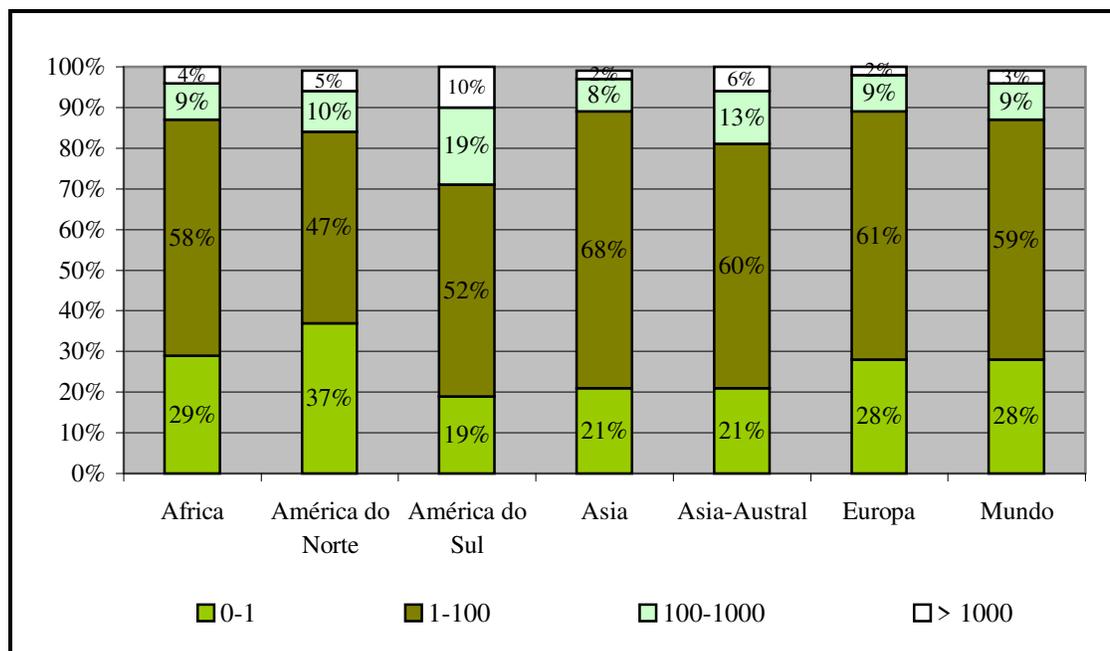


Figura 3.1.32. Distribuição regional do volume do reservatório (milhões de m³).

Fonte: WCD, 2001.

Portanto, a maioria das barragens construídas no mundo tem entre 10 e 20 metros de altura. Na América do Sul, 57% das barragens construídas tem altura entre 0 e 30 metros, sendo a média mundial de 65%. Quanto ao volume do seu reservatório, a maioria das barragens sul americanas têm capacidade de armazenamento entre 1 e 100 milhões de metros cúbicos – cerca de 52% - e a média mundial para o mesmo volume é de 59%. Contudo, nota-se, claramente, que realmente a maioria das barragens construídas no mundo são de pequeno porte.

Segundo MCCULLY (2001), uma grande gama de situações pode dar errado quando se trata de barragens. Porém, as duas causas mais comuns para o rompimento de barragens são os galgamentos – responsáveis por 40% das falhas – e problemas na fundação – cerca de 30%. As barragens de material solto, que representam cerca de $\frac{4}{5}$ das barragens construídas no mundo, são as mais vulneráveis a serem destruídas quando a água passa por cima da crista.

Existe, porém, uma quantidade de razões inter-relacionadas que explicam o porquê da ruptura de uma estrutura. Uma barragem pode sofrer galgamento devido a capacidade inadequada

do vertedor na descarga de ondas de cheia, bloqueio por detritos do vertedor e órgãos de descarga, ou problemas elétricos ou mecânicos que não permitem que as comportas do vertedor se abram a tempo. As comportas do vertedor também podem ser abertas tarde demais devido ao mau julgamento ou predições incorretas do tamanho da onda de cheia que está chegando no reservatório.

A tabela 3.1.9. ilustra as falhas de barragens reportadas desde 1860 que mataram mais de 10 pessoas.

Tabela 3.1.9. Falhas de barragens reportadas desde 1860 que mataram mais de 10 pessoas.

BARRAGEM	PAÍS	TIPO	ALTURA (M)	DATA DE INAUGURAÇÃO	ANO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	NÚMERO DE MORTOS
Dale Dyke (Bradfield)	Inglaterra	TE	29	1858	1864	FE	250
Iruhaike	Japão	TE	18	1633	1868	GA	> 1.000
Mill River	Estados Unidos	TE	13	1865	1874	FE	143
El Habra [±]	Argélia	ER	36	1865	1881	GA	209
Valparaíso	Chile	TE	17	N/D	1888	FE	> 100
South Fork (Johnstown)	Estados Unidos	TE	22	1853	1889	GA	2.209
Walnut Grove	Estados Unidos	ER	34	1888	1890	GA	150
Bouzey	França	PG	15	1881	1895	FE	150
Austin	Estados Unidos	PG	15	1909	1911	FE	80
Lower Otay	Estados Unidos	ER	40	1897	1916	GA	30
Bila Desna	Tchecoslováquia	TE	17	1915	1916	FE	65
Tigra	Índia	PG	24	1917	1917	GA	> 1.000
Gleno	Itália	MV/PG	44	1923	1923	FE	600
Eigiaus Coedty [§]	País de Gales	PG TE	11	1908 1924	1925	PI GA	16
Saint Francis	Estados Unidos	VA	62	1926	1928	FE	450
Alla Sella Zerbino	Itália	PG	12	1923	1935	GA	> 100
Veja de Terra (Ribadelago)	Espanha	CB	34	1957	1959	FE	145
Malpasset (Fréjus)	França	VA	61	1954	1959	E	421
Orós	Brasil	TE	54	1960	1960	GA	1.000
Babii Yar	Ucrânia	TE		N/D	1961	GA	145
Panshet	Índia	TE	54	1961	1961	FE/GA	> 1.000
Khadakwasla [§]		ER	42	1879		GA	
Hyokiri	Correia do Sul			N/D	1961		250
Kuala Lumpur	Malásia			N/D	1961		600
Vaiont	Itália	VA	261	1960	1963	GA	2.600
Quebrada la Chapa	Colômbia			N/D	1963		250
Swift	Estados Unidos			N/D	1964		19
Zgorigrad (Vratza)	Bulgária	R	12	N/D	1966	GA	> 96
Nanaksagar	Índia	TE	16	1962	1967	FE/GA	100
Sempor	Indonésia	ER	54	1967	1967	FE/GA	200
Frías	Argentina	ER	15	1940	1970	GA	> 42
Buffalo Creek	Estados Unidos	R	32	1972	1972	GA	125
Canyon Lake	Estados Unidos	TE	6	1938	1972	GA	237 [*]
Banqiao, Shimantan e outras 60	China	TE		Final de 1950	1975	GA	230.000
Teton	Estados Unidos	TE	90	1976	1976	FE	11-14

CONTINUAÇÃO:							
Laurel Run	Estados Unidos			N/D	1977		39
Kelly Barnes (Toccoa Falls)	Estados Unidos	TE	13	1899	1977	FE	39
Machhu II	Índia	TE	26	1972	1979		> 2.000
Gopinatham	Índia			1980	1981		47
Tous	Espanha	ER	77	1980	1982		20
Stava	Itália	R		Década de 60	1985		269
Kantalai	Sri Lanka	ER	15	1952	1986		82
Sargazon	Tadjikistão		23	1980	1987		19
Belci	Romênia	TE	18	1962	1991	GA	48
Gouhou	China	ER	71	1987	1993	PI	342
Tirlyan	Rússia	TE	10	< 1917	1994	GA	19-37
Virginia nº 15	África do Sul	R	47	N/D	1994		39
Lake Blackshear Project Flint River Dam	Estados Unidos	TE	< 15	N/D	1994	GA	15
		TE	< 15			GA	
N/D	Filipinas	N/D	N/D<	N/D	1995	N/D	30

Fonte: modificado de MCCULLY, 2001.

Em que:

- ✓ Tipos de Barragem: TE = Terra ER = enrocamento PG = concreto de gravidade MV = arcos múltiplos CB = Contrafortes VA = arcos R = barragem de rejeitos.
- ✓ Causa da Falha: GA = galgamento PI = *piping* FE = Falha Estrutural F = falha geológica / fundação.
- ✓ * = inabilidade de distinção entre as fatalidades causadas pela falha da estrutura e as causadas por enchentes naturais.
- ✓ ± A primeira falha da El Habra ocorreu em 1872 sem perda de vidas. Foi reconstruída, falhou novamente em 1881, reconstruída novamente e falhou mais uma vez em 1927 (sem vítimas fatais) e foi, então, abandonada.
- ✓ § A inundação proveniente do colapso da primeira barragem desencadeou a falha da segunda localizada a jusante.

A partir da tabela 3.1.9, pode-se produzir algumas estatísticas dos principais acidentes com barragens. Conforme ilustrado na figuras 3.1.33, são apresentadas as estatísticas por tipo de barragem.

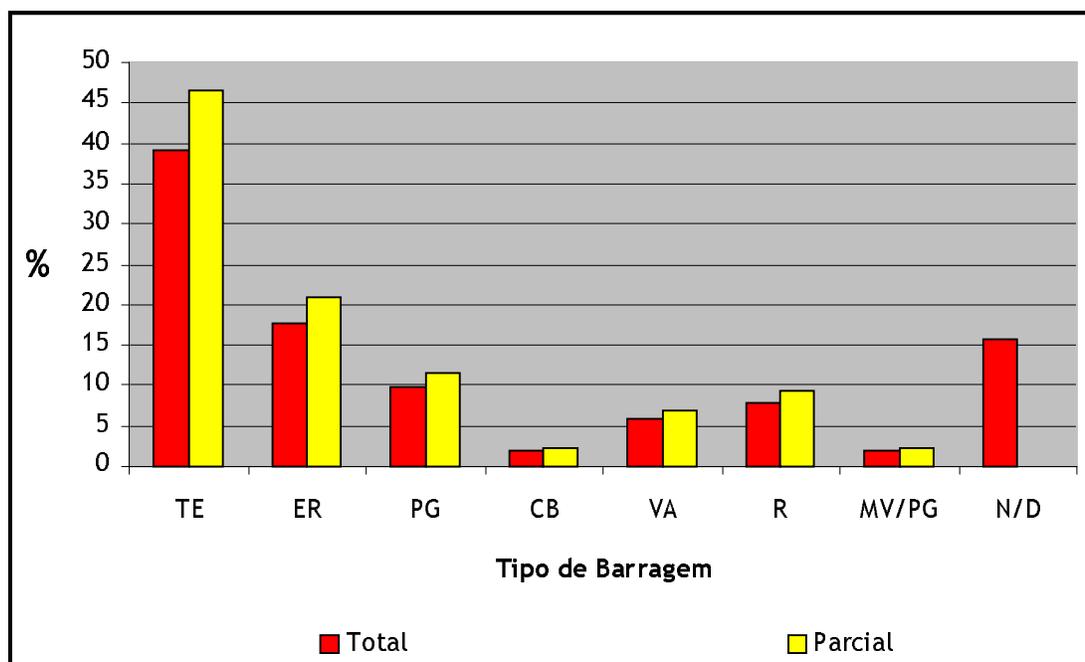


Figura 3.1.33. Tipo de Barragem que sofreu falha.

Em que:

TE = Terra

ER = Enrocamento

PG = Concreto de Gravidade

CB = Contrafortes

VA = Arcos

R = Rejeito

MV/PG = Arcos Múltiplos/Concreto de Gravidade

N/D = dado não disponível

Contudo, pode-se afirmar que as barragens que estão mais sujeitas à falhas são as de terra (39%) considerando-se o número total e 47% considerando-se o valor parcial, isto é, descontando-se as barragens com informação não disponível, seguidas pelas de enrocamento (18%, total e 21%, parcial), concreto de gravidade (10%, total e 12%, parcial), rejeitos (8%, total e 9%, parcial), em arco (6%, total e 7%, parcial), contrafortes e mista de arcos múltiplos e concreto de gravidade, ambas com cerca de 2%, total e parcial. Somente as barragens de arcos múltiplos não apresentaram acidentes.

A figura 3.1.34 apresenta as causas de falhas em barragens.

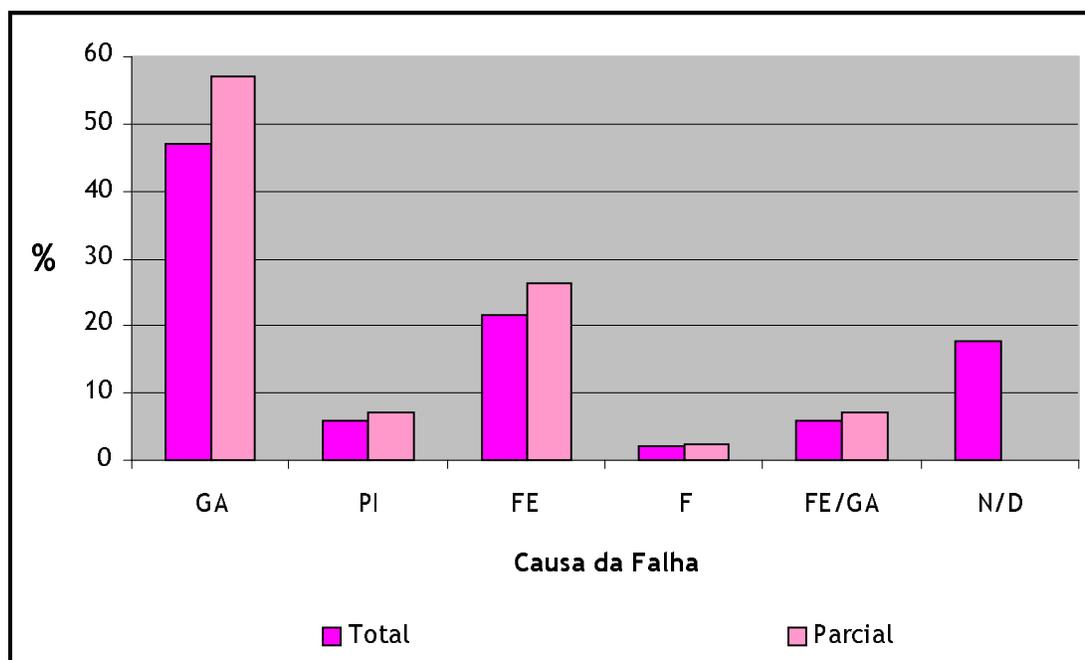


Figura 3.1.34. Causa da falha da barragem.

Em que:

GA = Galgamento

PI = *Piping*

FE = Falha Estrutural

F = Falha Geológica / Fundação

FE/GA = Falha Estrutural/Galgamento

N/D = dado não disponível

A causa mais comum de falha das barragens foi por galgamento (47%, total e 57%, parcial), seguida por falha estrutural (22%, total e 26%, parcial), *piping* e por falha estrutural/galgamento (cerca de 6%, total e 7%, parcial) e falha geológica ou da fundação (2% total ou parcial).

A figura 3.1.35 ilustra a relação entre os acidentes com barragens e o ano de construção da estrutura.

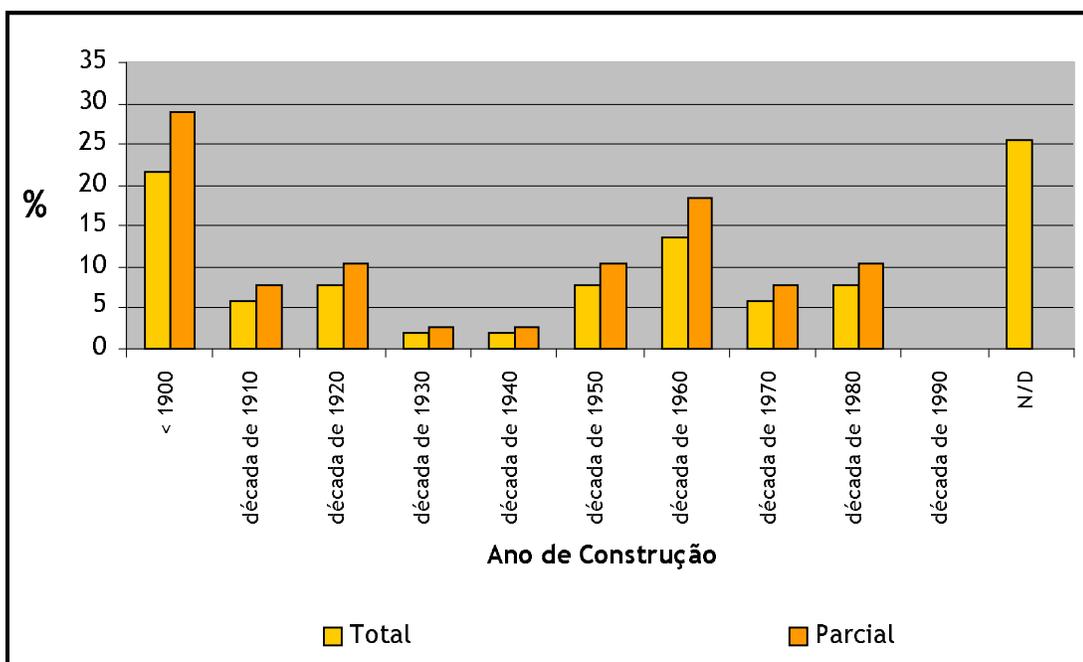


Figura: 3.1.35. Relação entre os acidentes e o ano de construção.

Pode-se afirmar, conforme ilustrado pela figura 3.1.31, que as barragens que causaram o maior índice de acidentes foram barragens construídas antes de 1900 (22%, parcial e 29%, total), seguidas pelas construídas na década de 60 (14% e 18%), o que pode ser explicado devido ao aumento da altura e volume do reservatório das barragens construídas após a década de 50.

Cerca de 8% do total e 11% do resultado parcial das barragens construídas na década de 20, 50 e 80, 6% do total e 8% parcial das barragens construídas na década de 70 e 2% total e parcial das barragens construídas nas décadas de 30 e 40. Somente as barragens construídas a partir da década de 90 não sofreram acidentes, de acordo com os dados que constam na tabela 3.1.7.

A figura 3.1.36 ilustra os acidentes com barragens que ocorreram em cada década, no período contido anteriormente a 1900 e 1990.

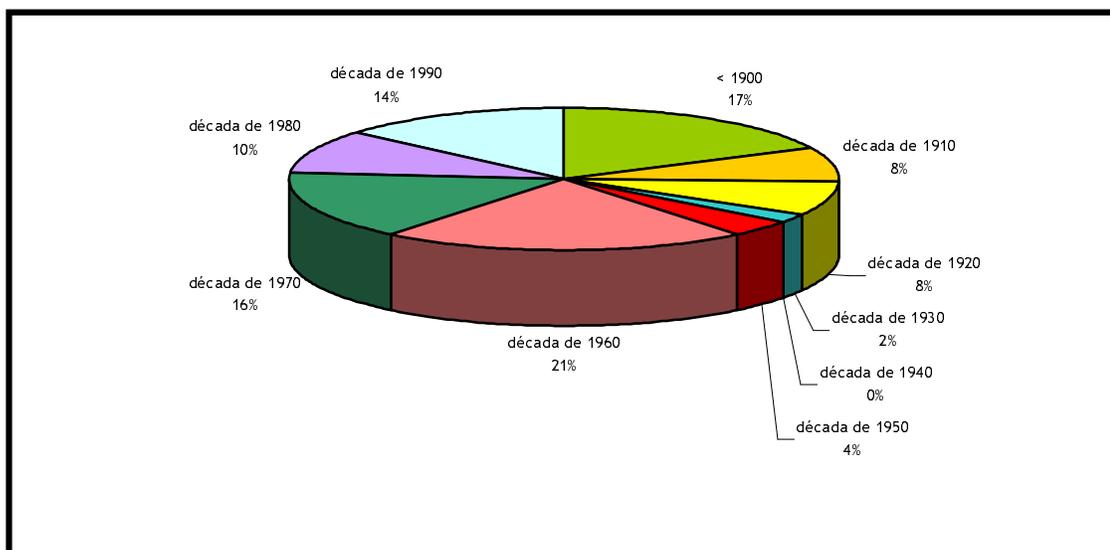


Figura 3.1.36. Acidente com Barragens por década.

A década mais marcada pelos acidentes graves com barragens foi a década de 60 (21%), seguida pelos anos anteriores a 1900 (17%), 16% na década de 70, 14% na década de 90 e 10% na década de 80. Na década de 60, os acidentes ocorreram devido ao aumento do tamanho das barragens e nas décadas de 70, 80 e 90, falharam devido ao envelhecimento das estruturas que foram sendo construídas ao longo do século XX e antes de 1900, pode-se esperar que suas falhas se deram devido a uma técnica construtiva deficiente.

A figura 3.1.37 ilustra a altura das barragens que sofreram algum tipo de falha.

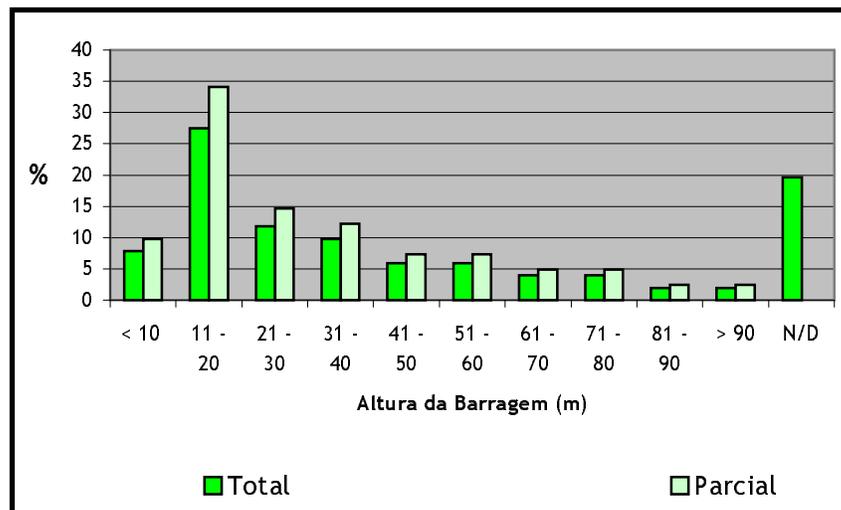


Figura 3.1.37. Altura das Barragens que falharam.

As barragens que mais sofreram falhas foram, de longe, as que têm altura entre 11 e 20 metros (27 % do total e 34% do parcial), seguidas pelas com altura entre 21 e 30 metros (12% total e 15% parcial) e das com altura entre 31 e 40 metros (10%, total e 12%, parcial). As barragens acima de 81 metros de altura correspondem à menor porcentagem de acidentes (cerca de 4%), o que pode ser observado devido um monitoramento melhor efetuado nestas estruturas de maior porte, além de possivelmente possuírem instrumentos e regras de manobras de vertedores e saídas d'água definidas e detalhadas.

Contudo, pode-se concluir que as barragens de menor porte oferecem um risco maior a população visto que os empreendedores deste tipo de estrutura não se atentam a uma construção muito refinada, não definem regras operacionais, muitas vezes nem realizam o projeto da obra e tampouco se preocupam com a manutenção das partes constituintes das mesmas. Isto pode ser claramente observado no Brasil. Por estas barragens serem de pequeno porte, os proprietários acham que caso haja um acidente, este não acarretará em grandes perdas. Como se pode observar com a ajuda das estatísticas, isto não corresponde, em absoluto, a realidade e deverá servir de alerta aos órgãos públicos encarregados de aprovar e fiscalizar tais obras.

Um outro fator que pode ser apontado como agravante desta situação: os responsáveis pela elaboração de leis, manuais, normas, enfim, tudo que diz respeito a segurança de barragens, acabam se preocupando mais com estruturas de maior porte, deixando de lado as pequenas estruturas. Isto porque as grandes estruturas, caso rompam, causam estragos imensos e muitas vezes incomensuráveis à população. Poucos países, como, por exemplo, Portugal e Canadá, possuem regras específicas para barragens de pequeno porte. Regras, estas, presentes sejam em forma de lei ou mesmo em recomendações feitas por meio de manuais técnicos.

Segundo MCCULLY (2001), apesar do alto risco à vida humana e à propriedades que figura no cenário de grandes barragens, poucos países possuem uma legislação compreensível e segura que abranjam aspectos tais como critérios que novas barragens devam atender, inspeções regulares e reparos de barragens antigas e a preparação de planos de emergência que envolva a evacuação de pessoas localizadas a jusante.

Muitas barragens antigas não foram projetadas e construídas com capacidade suficiente do vertedor para a passagem da vazão máxima provável (PMF) ou resistente o suficiente para suportar o denominado sismo máximo (MCE). Como na maioria dos países não há uma cobrança para que os proprietários de barragens atualizem suas estruturas e às vezes não se consegue um entendimento entre os projetistas e construtores de barragens se as PMF e MCE utilizadas no projeto são realmente adequadas à segurança da estrutura (MCCULLY, 2001).

Avanços na hidrologia e na tecnologia de construção de barragens, especialmente no entendimento do comportamento dos materiais, geralmente colaboram para que progressivamente as novas barragens não venham a entrar em colapso. Entretanto, o risco de ocorrência de outro acidente grave com implicações de desastre continua a subir quanto mais barragens forem construídas. Como a altura média das estruturas está aumentando, áreas melhores localizadas já foram usadas obrigando os empreendedores a ocupar sítios menos propícios. E, ainda, a chegada da idade de grandes barragens – a maioria foi construída a partir de 1950 – facilita sua deterioração, assim a segurança das barragens está e continuará seriamente comprometida.

A figura 3.1.38 ilustra o número de grandes barragens comissionadas, por década, na América do Sul.

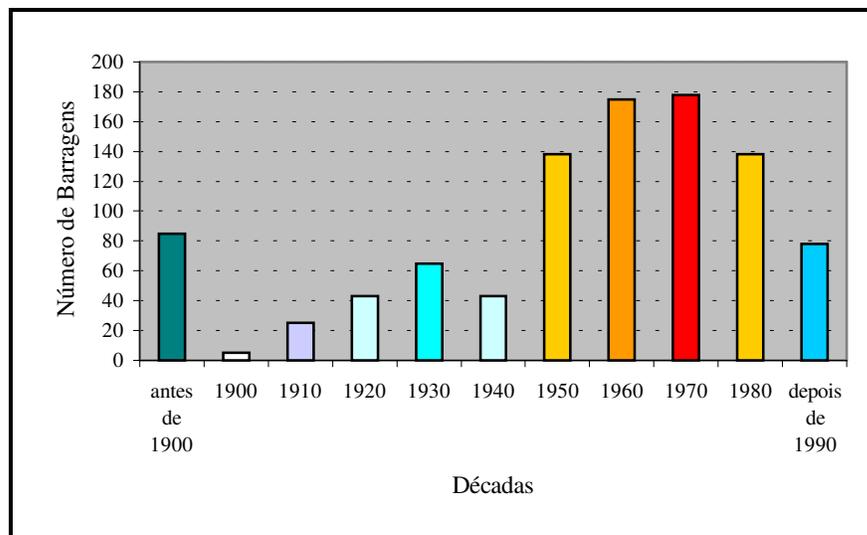


Figura 3.1.38. Número de grandes barragens comissionadas na América do Sul.

Fonte: WCD, 2001.

Segundo a WCD (2001), a construção de barragens na América do Sul foi impulsionada devido à necessidade de geração de energia. Quase $\frac{2}{3}$ das barragens de grande porte construídas no continente, estão localizadas no Brasil. Em 1998, este número era de cerca de 594 barragens. Os propósitos de construção de barragens de grande porte estão ilustrados na figura 3.1.39.

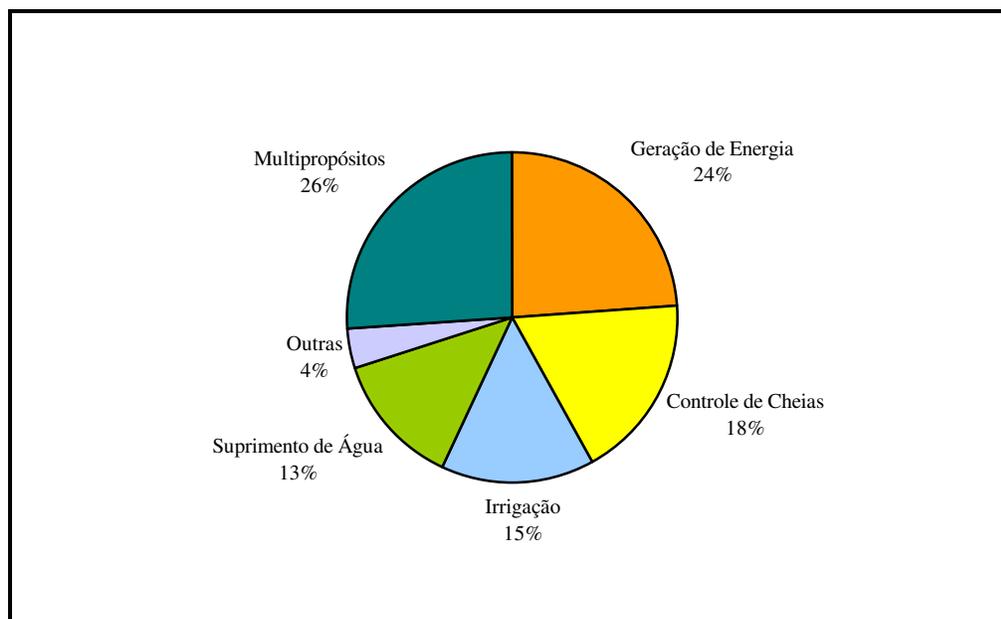


Figura 3.1.39. Propósito das Grandes Barragens construídas na América do Sul.

Fonte: WCD, 2001.

A região mais ativa no desenvolvimento de hidrelétricas é o Brasil, que gera 93% de sua eletricidade por meio da construção destas estruturas. A Venezuela vem em segundo lugar com 73%, seguida pelo Equador e Colômbia, ambos com cerca de 68% e Chile (57%). A energia produzida por hidrelétricas fornece mais da metade da energia gerada em 10 dos 12 países da América do Sul, que possuem barragens, incluindo o Paraguai (quase 100%) e Peru (74%) WCD (2001). Contudo, seria importante o Brasil possuir um excelente programa de segurança em barragens.

A EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia (2001), de São Paulo apresenta um histórico da situação relativa a segurança de barragens no mundo. Durante o Congresso Internacional de Grandes Barragens do ICOLD em 1979, decidiu-se investir maiores esforços no âmbito da segurança de barragens por três motivos: diversos incidentes envolvendo barragens,

com grandes conseqüências; aumento das dimensões das barragens e envelhecimento de outras; aumento na construção de barragens em países sem nenhuma tradição e experiência em engenharia de barragens. Na Inglaterra a preocupação com a segurança de barragens data do início do século XX (década de 30), que facilitou o aparecimento de base legal e ações propostas em 1975. Na França, um decreto de 1968 impôs a preparação de um plano de emergência para barragens com mais de 18 metros de altura e reservatório acima de $15 \times 10^6 \text{ m}^3$. Outros países como o Canadá, Noruega e Itália também possuem legislação própria para as atividades de segurança de barragens.

No Brasil, o CBGB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – citado na EMAE (2001), seguindo a tendência mundial, editou em 1979 e 1983 as Diretrizes para Inspeção e Avaliação de Segurança de Barragens em Operação. Diversas outras publicações seguiram, como “Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil”, em 1996. Em 1997, foi criada, no CBGB, pela Comissão de Deterioração e Reabilitação de Barragens, a minuta para a formação do Conselho Nacional de Segurança de Barragens. Em 1998, o Núcleo São Paulo do CBGB finalizou o “Guia Básico de Segurança de Barragens”, que orienta os proprietários de barragens quanto aos padrões e procedimentos de segurança a serem seguidos.

Em 2002, o Ministério de Integração Social, por meio da Secretaria de Infraestrutura Hídrica publica o “Manual de Segurança e Inspeção de Barragens” que tem por objetivo estabelecer parâmetros e um roteiro básico para orientar os procedimentos de segurança a serem adotados em novas barragens, quaisquer que sejam seus proprietários e manter as já construídas em um estado de segurança compatível com seu interesse social e desenvolvimento.

Segundo o Manual, uma barragem segura é aquela cujo desempenho satisfaça as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais. A segurança das barragens existentes deve ser avaliada regularmente pelas reavaliações de segurança de todas as estruturas e instalações. A segurança de uma barragem pode ser garantida por:

- ✓ Correção de qualquer deficiência prevista ou constatada;
- ✓ Operação segura, manutenção e inspeção;

- ✓ Preparação adequada para emergências.

Se uma barragem não apresentar os requisitos de segurança, deve-se executar melhoramentos apropriados, incluindo:

- ✓ Melhorias estruturais;
- ✓ Melhorias não-estruturais;
- ✓ Recuperação de qualquer deficiência na operação, observação, inspeção ou manutenção da barragem, ou na preparação de seus operadores para condições de emergência.

A responsabilidade por todos os aspectos relacionados à segurança de barragens deve ser claramente definida; sugere-se que seja o dono do empreendimento. Quando a posse de uma barragem for transferida, as partes devem coletar e reunir toda a documentação técnica existente, especialmente aquela contendo os dados e eventuais preocupações concernentes à sua segurança. A responsabilidade pela sua continuidade ou criação da supervisão das condições de segurança da barragem deve ser claramente definida.

Toda barragem deve ser classificada em termos de previsão quanto às conseqüências de ruptura. Cada estrutura de barramento, incluindo os diques e barragens auxiliares, deve ser classificada separadamente.

A tabela 3.1.10 ilustra a classificação da conseqüência de ruptura de barragens e potencial conseqüência incremental da ruptura.

Tabela 3.1.10. Classificação da Conseqüência de Ruptura de Barragens e Potencial Conseqüência Incremental da Ruptura ^(a).

CONSEQÜÊNCIA DA RUPTURA	PERDAS DE VIDAS	ECONÔMICO, SOCIAL E DANOS AMBIENTAIS
Muito Alta	Significativa	Dano excessivo
Alta	Alguma	Dano substancial
Baixa	Nenhuma	Dano moderado
Muito Baixa	Nenhuma	Dano mínimo

Fonte: Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

^(a) Os critérios de classificação de categorias de danos econômicos e ambientais devem ser baseados nas conseqüências das perdas em relação à região afetada.

A re-avaliação da segurança de uma barragem, segundo o Manual, deve ser executada em intervalos de tempo regulares, para a barragem e suas estruturas associadas, incluindo seus planos de operação, manutenção, inspeção e de emergência, a fim de se determinar se estes são seguros em todos os aspectos e, caso não o sejam, determinar as melhorias necessárias para a segurança. A primeira reavaliação da segurança da barragem, para uma barragem nova, deve ser completada em até cinco anos após o primeiro enchimento.

A tabela 3.1.11 ilustra a freqüência com que a de re-avaliações da segurança de barragens deve acontecer.

Tabela 3.1.11. Freqüência de Re-avaliações da Segurança de Barragens.

CONSEQUÊNCIA DA RUPTURA ^(b)	PERÍODO ENTRE RE-AVALIAÇÕES
Muito Alta	5 anos
Alta	7 anos
Baixa	10 anos
Muito Baixa	10 anos

Fonte: Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

^(b) De acordo com tabela 3.1.10.

A re-avaliação deve incluir uma inspeção adequada do local da barragem e de suas estruturas associadas. A re-avaliação do projeto e da construção deve ser suficientemente pormenorizada para verificar se as barragens, dispositivos de descarga, margens do reservatório e taludes da barragem, satisfazem todos os quesitos de segurança atualmente aplicáveis.

Segundo o Manual, o objetivo de uma avaliação de segurança é determinar as condições relativas à segurança estrutural e operacional das barragens, identificando os problemas e

recomendendo tanto reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações, quanto as análises e os estudos para determinar as soluções dos problemas.

A tabela 3.1.12 ilustra a falha que a estrutura pode sofrer, a que esta falha pode estar associada e, ainda, possível causa da falha.

Tabela 3.1.12. Categorias e Causas de Falhas em Barragens.

FALHA	DECORREM OU ESTÃO ASSOCIADOS	CAUSA
Deterioração da fundação	Qualidade e/ou tratamento das fundações. Apresentam rachaduras visíveis; afundamento localizado; retirada de materiais.	Remoção de materiais sólidos e solúveis; retirada de rochas e erosão.
Instabilidade da fundação	Materiais solúveis; xistos argilosos ou argilas dispersivas que reagem com a água.	Liquefação; deslizamentos; afundamentos e deslocamento de falhas.
Vertedores defeituosos	Cheia de projeto. Adequação do vertedor; histórico de operação do vertedor e do descarregador; obstruções; condição a jusante; crescimento da vegetação; fissuras e/ou rachaduras nas estruturas de concreto; equipamentos em má-condição de uso.	Obstruções; revestimentos fraturados; evidência de sobrecarga da capacidade disponível e comportas.
Deterioração do concreto	Materiais defeituosos; agregados reativos; agregados de baixa resistência.	Reação álcalis/agregados; congelamento, degelo e lixiviação.
Defeitos de barragens de concreto		Alta sub-pressão; distribuição imprevista de sub-pressão; deslocamentos e deflexões diferenciais; sobrecargas.
Defeitos de barragens de terra e/ou de enrocamentos	Estabilidade e sanidade das rochas do enrocamento; fraturamento hidráulico; rachaduras no solo; solos de baixa densidade.	Potencial de liquefação; instabilidade dos taludes; vazamento excessivo; remoção dos materiais sólidos e solúveis e erosão do talude.
Defeitos das margens do reservatório	Erosões, deslocamentos de falhas; rupturas.	Permeabilidade; instabilidade e fragilidade inerentes das barreiras naturais.

Fonte: Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

Em 2005, a CANADIAN DAM ASSOCIATION – Associação Canadense de Barragens – publicou o *Dam Safety Guidelines* – Manual de Segurança de Barragens – produto da revisão do primeiro exemplar, lançado em 1995 e revisado, também, em 1999. Há um capítulo dedicado às revisões da segurança de uma barragem que pode ser definida como: uma revisão formal e compreensível, feita em intervalos de tempo regulares para se determinar se uma barragem existente é segura ou não, a fim de se poder melhorar a segurança das estruturas associadas.

A revisão da segurança de uma barragem deve ocorrer periodicamente. A frequência requerida deve ser baseada em: conseqüências da falha ou ruptura, riscos externos, se há um programa de vigilância de barragens e demonstrativos da performance da estrutura. As atividades relacionadas com a revisão de segurança incluem inspeção visual da barragem como também:

- ✓ Conseqüências da falha da estrutura.
- ✓ Documentações e práticas de operação, manutenção e vigilância.
- ✓ Planos e procedimentos de emergência.
- ✓ Requisitos de segurança e medidas efetivas de segurança.
- ✓ Revisão de prévias questões de segurança da estrutura.
- ✓ Análise de segurança da barragem, incluindo-se: confiabilidade e funcionalidade das estruturas de descarga, estabilidade e performance, cargas sísmicas, outras cargas e cargas combinadas.
- ✓ Eficácia geral do gerenciamento das questões de segurança da barragem.

3.3) Métodos para Avaliação da Segurança de Barragens

Neste ítem, tratar-se-á de discutir metodologias propostas para a avaliação da segurança de barragens ou de assuntos relacionados.

LAFITTE (1993) propõe um método probabilístico para avaliar o risco de uma grande barragem. O engenheiro precisa assegurar a segurança das estruturas que ele constrói, deve, portanto, avaliar os riscos potenciais associados com a construção e operação e proporcionar todos os meios apropriados para reduzir os riscos a níveis aceitáveis. A sua técnica consiste em elaborar as chamadas árvores de falhas e de eventos. A árvore de falhas é relacionada às causas. Representa graficamente as combinações de todas as causas possíveis que podem provocar um evento. O processo dedutivo começa com o evento não desejável (conseqüência) e desce para um nível inferior até chegar ao conjunto de eventos básicos e independentes. A árvore de eventos é relacionada as Conseqüências. Representa graficamente todas as sequências possíveis de eventos

resultantes de um evento inicial, levando em conta as medidas que deveriam ser consideradas para que o sistema opere em segurança.

Contudo, o processo é indutivo; procura-se as Conseqüências a partir de um evento inicial. A análise quantitativa envolve cálculo de probabilidade, partindo da base e subindo ao topo da árvore. Saliencia também que as pessoas estão dispostas a assumir voluntariamente um risco 10^3 vezes maior que o normal a igualdade de benefícios. Para uma barragem a situação segura seria aquela que proporciona um risco de 10^{-6} , equivalente ao que essa pessoa estaria submetida num evento natural como um raio ou sismo.

É de suma importância detalhar a metodologia apresentada por KUPERMAN e *et al* (1995), utilizada pela SABESP por se tratar de uma das únicas encontradas e testadas no Brasil.

Contudo, cada barragem, deverá ter a avaliação do Potencial de Risco; num segundo momento, a Avaliação da Performance para que se possa determinar numa terceira e última etapa o Índice Comportamental de cada barragem; a fim de compará-las e determinar as necessidades singulares de cada uma delas, além das condições gerais em que cada uma se encontra.

Cada barragem também deverá ser classificada como “pequena”, “intermediária” ou “grande”, de acordo com as variações de altura e tamanho do reservatório, conforme a tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1. Categorias de Tamanho para determinação do Potencial de Risco de Barragens

CATEGORIA	ALTURA ¹	VOLUME DO RESERVATÓRIO ²
Pequena	< 15	< 1
Intermediária	15 - 30	1 - 50
Grande	> 30	> 50

Fonte: KUPERMAN *et al*, 1995.

¹ – em metros;

² – em milhões de m³.

Caso a barragem necessite de classificações diferentes para as duas variáveis, a nota associada a um maior Potencial de Risco deverá ser adotada. Por exemplo, se sua altura é menor que 15 metros mas o volume do reservatório está entre 1 milhão e 50 milhões de m³, esta barragem seria classificada como de tamanho intermediário. A barragem deverá ser classificada em “risco moderado” se tiver controle pelo vertedor e de “risco baixo” se não houver controle no vertedor.

Quanto às características à jusante, as barragens deverão ser classificadas de “baixo risco” quando nenhuma vida humana será colocada em risco e uma falha resultaria numa perda econômica mínima. A classificação como “risco significativo” seria atribuído àquelas que nenhuma perda de vida humana é esperada, mas em caso de ruptura ou falha pode acarretar perdas econômicas consideráveis. As de classificação de “alto risco” seriam dadas àquelas onde perda de vidas humanas poderão ser esperadas no caso de um galgamento ou ruptura; perdas econômicas excessivas serão registradas.

Uma barragem poderá ser classificada de acordo com o que foi previsto em seu projeto (associado ao período de retorno). A estrutura receberia uma melhor nota se foi previsto um tempo de retorno de cheias maior ou igual a 1.000 anos. Seria classificada de risco “moderado” se seu projeto levou em consideração um tempo de retorno entre 100 e 1.000 anos. Finalmente, as menores pontuações seriam dadas àquelas cuja magnitude seja inferior às citadas anteriormente.

Ao longo da pesquisa, os dados na tabela 3.2.2 devem ser preenchidos.

Tabela 3.2.2. Dado das Barragens em Avaliação.

NOME DA BARRAGEM	ALTURA (M)	ANO DE INAUGURAÇÃO	TIPO ¹	CATEGORIA DO RESERVATÓRIO ²	PERÍODO DE RETORNO (PROJETO) ³	DADOS EXISTENTES ⁴

Fonte: KUPERMAN *et al*, 1995.

¹ – C = concreto; E = enrocamento e T = terra;

² – 1 = volume < que 1.10⁶ m³; 2 = entre 1.10⁶ e 5.10⁶ m³ e 3 = > 5.10⁶ m³;

³ – em anos ou D = desconhecido;

⁴ – S = Sim, N = não e P = parcial (alguns dados estão disponíveis).

Cada barragem também deverá ser classificada de acordo com sua performance, fazendo-se uso de uma série de indicadores técnicos e analíticos. Como no caso do Potencial de Risco, as menores notas são para àquelas com o mais fraco desempenho. Esses indicadores são: a) qualidade geral dos dados técnicos disponíveis (plantas, relatórios, entre outros); b) níveis de vazamento; c) presença de deformações; d) nível de deterioração em aspectos gerais e taludes da barragem; e) evidências de erosão à jusante e f) condição dos equipamentos do vertedor para o escoamento das enchentes.

Quando a documentação técnica não está disponível, deverá ser dada uma nota igual a zero, a este quesito.

Deverão ser considerados indicadores de elevação, níveis piezométricos e infiltrações nas barragens. A classificação de “perigosa” será dada àquela cuja análise dos registros piezométricos e de infiltração indicarem que a estrutura é, ou tem a possibilidade de se tornar insegura. Finalmente, se não houver informação disponível sobre terraplanagem, nível piezométrico ou infiltração, a barragem será classificada como “desconhecida”. Esta última classificação mais sofrível pode também ser atribuída se não houver instrumentos instalados, inspeções nunca outrora realizadas ou não houver registro delas. O sistema de classificação usa critérios gerais, similares para classificar a fundação e deformação estrutural como é aplicado no item acima.

Para se avaliar o nível de deterioração na superfície de concreto e nas barragens de material solto é uma tarefa difícil e subjetiva. Condições tais como pequenas rachaduras, pequenos vazamentos ou com o crescimento significativo da vegetação natural nos aterros, poderão contribuir para maiores problemas no futuro. Tais ocorrências serão classificadas como “nível moderado”. Erosões a jusante serão classificadas como moderadas se não apresentarem problemas imediatos à estabilidade da represa. A classificação de “boa” somente será dada quando a barragem for inspecionada constantemente, recebam manutenção regularmente e sejam testadas por completo periodicamente. Se o equipamento encontrado puder ser operado, mais testes periódicos não forem aplicados ou não houver um programa de manutenção preventiva, a barragem será classificada como “aceitável”.

Por último, calcula-se o Índice Comportamental (IC), conforme equação 3.1, para refletir a importância relativa da segurança dos indicadores Potencial de Risco (PR) e Avaliação da Performance (AP).

$$IC = (0,4 * PR) + (0,6 * AP) \quad (3.1)$$

Por fim, deverá ser montada uma tabela de resultados a fim de se comparar as diversas barragens em estudo, como a tabela 3.2.3.

Tabela 3.2.3. Resumo das Condições de Segurança nas Barragens Pesquisadas

NOME DA BARRAGEM	POTENCIAL DE RISCO	AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE	ÍNDICE COMPORTAMENTAL ^{1, 2}

Fonte: KUPERMAN *et al*, 1995.

¹ – Índice Comportamental; e

² – Índices maiores ou iguais a 80 indica que está em condições satisfatórias e deverão ser re-inspecionadas em três anos; as barragens com índices entre 79 e 60 estão aceitáveis e barragens com índices menores que 60 são consideradas insatisfatórias sob o ponto de vista da segurança. Barragens que se enquadraram na categoria “satisfatória” deverão se re-inspecionadas anualmente. Aqueles que se enquadraram na categoria “insatisfatória” deverão ser re-inspecionadas duas vezes ao ano, além de necessitar de estudos especiais e melhorias.

ALMEIDA (1998) constata que a segurança de barragens está intimamente ligada à segurança dos vales, habitantes e dos valores patrimoniais e naturais neles existentes. Viver em vales próximos de cursos d’água correspondeu sempre a riscos associados aos efeitos de fenômenos hidrológicos, hidráulicos e hidrogeológicos naturais. Reconhece-se a impossibilidade de eliminação total do risco de ocorrência de acidentes ou incidentes com barragens. Deste modo, torna-se indispensável o controle da segurança estrutural, hidráulica, operacional e ambiental das mesmas.

O autor propõe a gestão do risco nos vales por meio da: avaliação do risco e mitigação do risco. Do ponto de vista hidráulico, a gestão do risco nos vales tem por objetivo fundamental o

controle ou mitigação dos potenciais danos induzidos por acidentes naturais ou por acidentes e incidentes com barragens.

A avaliação do risco é constituída por dois aspectos:

- 1) Caracterização e identificação das zonas de perigo: envolve fundamentalmente a seleção de cenários de incidentes e acidentes (nas barragens) e a determinação das zonas sujeitas ao perigo de cheias e, se possível, a quantificação da respectiva ocorrência por meio da probabilidade P_e de ocorrência de cada evento.
- 2) Análise do risco associado.

O perigo a jusante está associado a quatro grandezas, por ocasião da onda de cheia ocasionada por um acidente com barragem: o nível máximo de água atingido, a área submersa máxima, a taxa de subida do nível da água e as velocidades extremas do escoamento. Portanto, os mapas de inundação são importantes ferramentas na preparação de estratégias no âmbito da gestão do risco de vales. Estes mapas deverão representar as áreas inundadas pelas cheias correspondentes a cada cenário e informações adicionais, tais como:

- ✓ Tempos de chegada da vazão máxima e da cota máxima de água.
- ✓ Isolinhas de altura máxima de água.
- ✓ Isolinhas de velocidade máxima do escoamento.
- ✓ Isolinhas dos valores máximos instantâneos do produto altura de água pela velocidade de escoamento.

A escala a ser adotada nos mapas deverá ser adequada para a visualização destes requisitos e tenderá a ser feita com base num sistema de informação georeferenciada (SIG). Vale ressaltar que esses mapas com incertezas próprias podem originar uma eventual perda de valor econômico de áreas em função da localização delas perante o mapa de inundação.

A análise do risco envolve simultaneamente a probabilidade de ocorrência do evento e as respectivas conseqüências ou danos provocados pelo mesmo. Os mapas de inundação

possibilitarão uma primeira avaliação das zonas potenciais conforme o tipo de ocupação do solo, incluindo a densidade populacional.

Na avaliação dos danos provocados pelas cheias inesperadas nos elementos em risco – pessoas ou bens – há de se levar em consideração a respectiva **susceptibilidade**. Esta dependerá da **exposição física** aos efeitos da cheia (localização nos mapas de inundação) e da **vulnerabilidade** a qual traduzirá a tolerância física e econômica do acidente.

A avaliação dos riscos a jusante exige a segmentação dos mapas de inundação em M sub-áreas de A_j onde, para cada cenário é conhecido o grau de severidade da cheia, caracterizado pela altura de água ou pela velocidade do escoamento. Sobrepondo o mapa de ocupação do solo, com a caracterização da respectiva vulnerabilidade, é possível obter o risco, para cada cenário de ruptura, em cada sub-área. Por exemplo, no caso de perdas de vidas humanas:

$$R_{ji} = P_{Ei} f_{Ri} V_{ji} \quad (3.2)$$

Em que: P_{Ei} = a probabilidade de excedência anual do limiar da causa que pode desencadear o cenário; f_{Ri} = probabilidade condicional de ocorrência de ruptura da barragem dado o evento que a causou; V_{ji} = vulnerabilidade transformada em perdas de vidas humanas prováveis face ao cenário i.

O risco ponderado R_{ip} para todo o vale será:

$$R_{ip} = \frac{\left(\sum_M R_{ji} A_j \right)}{\left(\sum_M A_j \right)} \quad (3.3)$$

Em algumas situações é possível estimar a probabilidade de ocorrência do acidente com ruptura: é o caso do cenário com ruptura por galgamento nas barragens de material solto em que a probabilidade pode ser obtida a partir da caracterização probabilística das cheias afluente. Com

efeito, a determinação das probabilidades P_{Ei} e f_{Ri} é, em geral difícil de obter, permite-se considerar na análise do risco o valor $P_{Ei} * f_{Ri} = 1$, para cada cenário de ruptura plausível.

A vulnerabilidade humana dos habitantes de um vale a jusante de barragens compreende aspectos objetivos e subjetivos. De uma forma simplificada, poder-se-á definir o seguinte fator de vulnerabilidade numa determinada área de um vale FV , dado por:

$$FV = FC * AE * OS * SI * CS * NP \quad (3.4)$$

Em que:

FC – depende das características hidrodinâmicas da cheia, correspondente ao cenário de ruptura considerado, na zona em análise.

AE – depende do tipo de sistema de aviso e alerta e da eficácia operacional do mesmo, incluindo a antecipação do alarme e a periodicidade de treinos e exercícios.

OS – índice de ocupação do solo por atividades econômicas e zonas habitacionais.

SI – susceptibilidade física da estrutura ao impacto das cheias.

CS – características sociológicas das populações em risco (depende do grau de escolaridade, faixa etária, nível de percepção do risco e a capacidade de resposta a situações de crise).

NP – número de pessoas expostas ao perigo.

O índice de vulnerabilidade objetivo pode ser então definido por:

$$I_{vo} = \frac{\sum_M FV_j}{\sum_M NP_j} \quad (3.5)$$

A influência do fator subjetivo, relativo a percepção do risco em causa, pode ser traduzida por um índice de vulnerabilidade subjetivo I_{vs} , sendo o índice total:

$$I_{vc} = I_{vo} * I_{vs} \quad (3.6)$$

A calibração dos modelos de vulnerabilidade exige estudos de campo.

Contudo, pode-se afirmar que esta metodologia apresentada por ALMEIDA (1998) não parece ser de fácil aplicação e é bastante restrita, visto que, é totalmente voltada a análise de risco que envolve populações e bens materiais a jusante de barragens.

Em 2001, KUPERMAN *et al* apresentou uma nova metodologia para avaliação da segurança de barragens, baseado na metodologia previamente desenvolvida para a avaliação da segurança das barragens da SABESP, apresentando novos critérios adotados para a análise de riscos associados a barragens. Segundo o autor, a partir do acompanhamento continuado do comportamento das barragens, as tomadas de decisões acerca das necessidades de intervenções de manutenção, de estudos ou investigações complementares são os objetivos buscados.

Ainda segundo KUPERMAN *et al* (2001), a metodologia geral da classificação adotada foi estuda a fim de atender aos seguintes requisitos básicos:

1. efetuar a classificação de maneira diferenciada em dois contextos distintos, quais sejam, aquele definido pela periculosidade potencial que cada unidade apresenta em função das suas características de localização e de projeto e aquele definido por seu estado real de funcionamento;
2. permitir a aplicação dos métodos classificatórios de modo evolutivo, de maneira a possibilitar a alteração, com o tempo, da classificação de cada unidade em função de suas condições de contorno e de seu comportamento observado;
3. estabelecer um índice de avaliação por meio de “notas”, para cada unidade, de maneira a facilmente identificar aquelas em situação tal a exigir intervenção, imediata ou não;
4. permitir a aplicação dos métodos classificatórios a uma gama de variação de parâmetros relativamente elevado mas, ao mesmo tempo, restringir ao mínimo as opções decisórias de modo a tornar mais fácil e mais clara a necessidade de efetuar eventuais intervenções.

Num primeiro momento busca-se classificar a barragem quanto à sua “periculosidade” e os parâmetros incorporados para a determinação desta classificação foram estabelecidos a partir da importância da barragem no Sistema da SABESP e de suas características de projeto. Na tabela 3.2.4 pode-se observar os parâmetros para o cálculo da Periculosidade Potencial (PP).

Tabela 3.2.4. Classificação quanto a Periculosidade Potencial.

IMPORTÂNCIA PARA A SABESP	DIMENSÃO DA BARRAGEM	VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADA	IMPACTO À JUSANTE			TIPO DE BARRAGEM	ÓRGÃO VERTENTE	VAZÃO DE PROJETO
			SOCIAL	AMBIENTAL	ECONÔMICO			
Pequena (10)	Pequena (10)	Baixo (5)	Baixo (10)	Baixo (10)	Baixo (5)	Concreto (15)	De superfície sem controle (15)	VMP ou $1000 < Tr < 10000$ (20)
Média (8)		Pequeno (4)	Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (4)			
Significativa (6)	Média (6)	Médio (3)	Médio (6)	Médio (3)	Médio (3)	Enrocamento (12)	De superfície com controle (10)	$100 < Tr < 1000$ (12)
Grande (4)	Grande (2)	Grande (2)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)	Terra (8)	De fundo (5)	$Tr < 100$ ou desconhecido ou calculado há mais de 20 anos (2)
Elevada (2)		Elevado (1)						

Classificação segundo PP: $PP \leq 80$ = baixa; $80 > PP > 60$ = significativa; $60 \geq PP$ = elevada.

Fonte: KUPERMAN *et al* (2001).

Num segundo momento, calcula-se o “estado real da barragem” (ERB). O cálculo é efetuado a partir das condições reais da barragem sintetizadas por meio de fatores de avaliação conforme tabela 3.2.5.

Tabela 3.2.5. Classificação segundo o Estado Real da Barragem

INFORMAÇÕES DE PROJETO	FREQÜÊNCIA NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO	PERCOLAÇÃO	DEFORMAÇÕES	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DE PARAMENTOS OU TALUDES	EROSÕES A JUSANTE	CONDIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DOS DESCARREGADORES
Completas (5)	Adequada (10)	Conforme prevista em projeto ou inexistente (20)	Conforme prevista em projeto ou inexistente (20)	Mínimo ou Inexistente (15)	Mínimas ou Inexistentes (15)	Boa (15)
Parciais (4)	Razoável (6)	Fora do previsto mas não crítica (15)	Fora do previsto mas não crítica (15)	Baixo (12)	Poucas (12)	Razoável (8)
				Moderado (6)	Moderadas (6)	
Incompletas (2)	Inadequada (2)	Crítica (5)	Crítica (5)	Alto (4)	Elevadas (4)	Ruim (6)
Inexistentes (0)	Nenhuma (0)	Desconhecida (0)	Desconhecida (0)	Excessivo (3)	Significativas (3)	Inoperantes ou sem registro (3)

Classificação segundo ERB: $ERB \geq 80$ = satisfatório; $80 > ERB > 60$ = regular; $60 \geq ERB$ = insatisfatório.

Fonte: modificado de KUPERMAN *et al* (2001)

Por fim, determina-se o “Índice de Comportamento”(IC) para cada unidade, por meio da aplicação da equação:

$$IC = (0,4 * PP) + (0,6 * ERB) \quad (3.7)$$

Como resultado final, a cada barragem é atribuído um número que determina sua classificação de acordo com as seguintes classes ou categorias:

- a. **IC > 70 – Normalidade:** não há defeitos reportáveis; caracteriza a barragem ou situação que não possui qualquer restrição à operação ou que comprometa a segurança da estrutura. Não requer quaisquer ações imediatas.
- b. **70 ≥ IC > 60 – Atenção:** Há alguns defeitos que não comprometem o desempenho da unidade; as anomalias ou restrições existentes não apresentam risco à segurança da barragem a curto prazo, porém devem ser controladas e monitoradas. Levantamentos e estudos devem ser realizados para confirmar ou alterar o índice de comportamento da unidade. Não há, ainda, necessidade de priorizar eventuais intervenções corretivas.
- c. **60 ≥ IC > 50 – Alerta:** Existem anomalias que podem representar eventual risco à segurança da barragem e/ou à operação do sistema. Há uma necessidade de uma avaliação detalhada da real situação da barragem, reavaliação do índice de comportamento e estudo de alternativas para reparos. Devem ser tomadas providências para eliminação ou controle do problema.
- d. **IC ≤ 50 – Emergência:** Estudos detalhados sobre a barragem indicam haver anomalias que representam risco à segurança da mesma e/ou à operação do sistema. Dependendo do tipo de barragem e do problema apresentado a situação pode ficar fora de controle e haver risco de ruptura iminente, dependendo da operação do sistema. Pode haver necessidade de rebaixamento imediato do

reservatório, eventualmente de abandono do local e de acionamento de um Plano de Ação Emergencial.

Esta metodologia foi testada em algumas barragens da SABESP e pode ser considerada como satisfatória por atender aos seus objetivos.

MENESCAL *et al* (2001) apresentaram uma metodologia para a avaliação do potencial de risco em barragens do semi-árido. As premissas básicas para o estabelecimento deste modelo foram:

- ✓ Abrangência para todos os tipos e tamanhos de obras existentes no Estado do Ceará.
- ✓ Facilidade e rapidez de aplicação.
- ✓ Restringir ao máximo possível a subjetividade na aplicação da metodologia.
- ✓ Considerar aspectos da segurança estrutural, econômica e ambiental.
- ✓ Aspectos a observar, magnitude e importância baseados na experiência adquirida nos açudes do Ceará.

A partir de informações técnicas de projeto e construção pode-se determinar a periculosidade (P) das estruturas. A partir do estabelecimento de critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais a serem avaliados, define-se a importância estratégica (I). A partir de dados coletados em campo e de leitura de instrumentação, efetua-se uma avaliação preliminar da segurança que permitirá o cálculo da vulnerabilidade (V). Por fim, calcula-se o Potencial de Risco das estruturas a partir destes três parâmetros P, I e V.

A metodologia para o estabelecimento dos critérios a serem avaliados parte de dados relativos aos aspectos econômicos, sociais, ambientais e estruturais. A partir daí monta-se duas matrizes: uma de segurança que contempla os fatores listados e outra de importância estratégica, tais como:

- ✓ População abastecida (urbana, rural, sedes municipais, etc.).
- ✓ Capacidade (média histórica).
- ✓ Sustentabilidade financeira.
- ✓ Área irrigada.
- ✓ Indústria.
- ✓ Piscicultura.
- ✓ Outros usos (recreação, aquicultura, geração, ambiental, etc.).
- ✓ Importância regional.
- ✓ Aspectos políticos.
- ✓ Aspectos ambientais.
- ✓ População em risco.

Depois disso, estabelece-se como definir os níveis desejados de: monitoramento hidrológico (qualidade e quantidade), controle ambiental, organização (conselho gestor, etc.), inspeções, manutenção, operação (reuniões, simulação), instrumentação / auscultação e sistema de alerta. A definição ocorre a partir do estabelecimento de matrizes que agregam pesos e valores aos diversos aspectos considerados

A figura 3.2.1 fornece um esquema de como se calcular o potencial de risco.

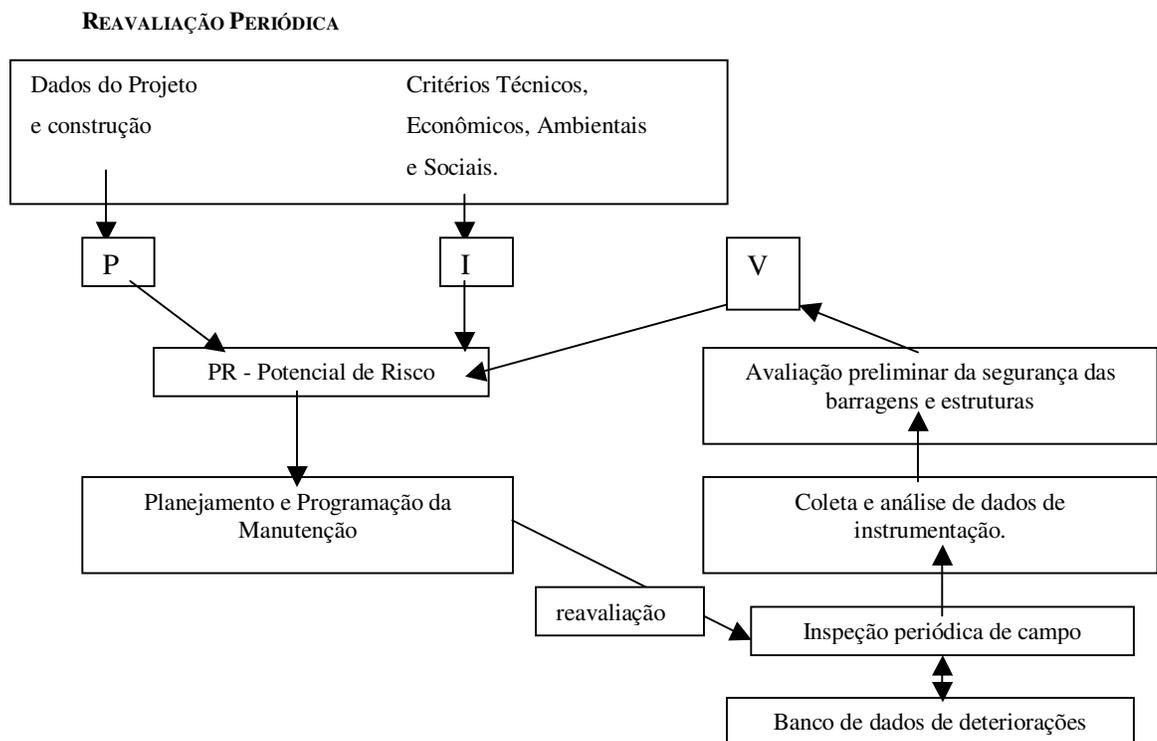


Figura 3.2.1. Esquema Proposto para Avaliação do Potencial de Risco.

Fonte: MENESCAL *et al* (2001)

O potencial de risco classificará a barragem em cinco classes diferentes: A, B, C, D e E. Se a barragem atingir a classificação “A”, significa que oferece um alto potencial de risco e por sua vez se for classificada como “E”, oferece um potencial de risco muito baixo. As outras classificações se encontram em situações intermediárias. Conforme a tabela 3.2.6, pode-se saber os requisitos mínimos quanto à manutenção destas barragens de acordo com o potencial de risco obtido.

Tabela 3.2.6. Requisitos mínimos quanto à manutenção.

CLASSE DA BARRAGEM	REQUISITOS MÍNIMOS
A	Intervenção e reclassificação.
B	M – deficiências médias.
C	P – pequenas deficiências.
D	P – pequenas deficiências.
E	I – deficiências inexistentes ou irrelevantes.

Fonte: modificado de MENESCAL e *et al*, 2001.

Os autores também sugerem uma freqüência que as inspeções visuais de segurança devem ocorrer conforme a tabela 3.2.7.

Tabela 3.2.7. Freqüência de Inspeções.

TIPO DE INSPEÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM				
	A	B	C	D	E
Rotina		Mensal	Trimestral	Semestral	Anual
Periódica		1 por ano (relatório completo)	1 por ano (relatório simplificado), 1 a cada 2 anos (relatório completo)	1 a cada 2 anos (relatório simplificado)	1 a cada 4 anos (relatório simplificado)
Formal		A cada 5 anos	A cada 10 anos	A cada 15 anos	A cada 15 anos
Especial	Para definir intervenção e reclassificação	Em oportunidade tais como: cheias excepcionais, rebaixamento rápido do reservatório, sismos, etc.			

Fonte: modificado de MENESCAL e *et al*, 2001.

Embora a matriz contenha ou forneça alguns elementos de interesse estratégico quanto à segurança no manejo do recurso hídrico envolvido, é importante destacar que não é esse o objetivo da classificação sugerida. Trata-se de uma “matriz piloto”, cuja metodologia de avaliação de potencial de riscos vem sendo aplicada com sucesso no estado do Ceará pela COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - para as 116 barragens por ela

monitoradas e está sujeita a aferições nos parâmetros e pontuações, fruto da experiência dos técnicos que detêm conhecimentos específicos e/ou familiaridade com barragens, para cada órgão específico.

O Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002), baseado na metodologia proposta por MENESCAL *et al*, propõe um modelo alternativo de avaliação do potencial de risco. Trata-se de uma matriz que procura apresentar um modelo alternativo para obter-se uma classificação das barragens, essencialmente quanto à segurança estrutural, importância estratégica e riscos para a população a jusante, hierarquizando-as, de forma a proporcionar um meio eficaz de planejar e programar a alocação dos recursos necessários à manutenção dentro dos padrões de segurança exigidos pelas Normas Técnicas Brasileiras.

Compõe a matriz um primeiro conjunto de parâmetros ou características técnicas do projeto que, pela sua magnitude, permitem retratar o grau de Periculosidade (P) intrínseca do mesmo, conforme tabela 3.2.8.

Tabela 3.2.8. Periculosidade das barragens.

DIMENSÃO DA BARRAGEM (1)	VOLUME TOTAL DO RESERVATÓRIO (2)	TIPO DE BARRAGEM (3)	TIPO DE FUNDAÇÃO (4)	VAZÃO DE PROJETO (5)
Altura \leq 10m e comprimento \leq 200m (3)	Pequeno < 20 hm ³ (3)	Concreto (4)	Rocha (1)	Decamilenar (1)
10m < altura < 20m e comprimento \leq 200m (3)	Médio até 200 hm ³ (5)	Alvenaria de pedra / concreto rolado (6)	Rocha alterada Saprolito (4)	Milenar (2)
20 \leq altura \leq 50m ou comprimento 200m a 3000m (6)	Regular 200 a 800 hm ³ (7)	Terra Enrocamento (8)	Solo residual / aluvião até 4 metros (5)	500 anos (4)
Altura > 50m e comprimento > 500m (10)	Muito Grande > 800 hm ³ (10)	Terra (10)	Aluvião arenoso espesso / solo orgânico (10)	Inferior a 500 anos ou desconhecida (10)

Fonte: modificado de Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

Nota – Se a vazão for desconhecida, deverá ser reavaliada, independentemente da pontuação.

A Periculosidade (P) é calculada a partir da equação:

$$P = \sum_{1}^{5} P_i \quad (3.8)$$

Resultados:

- ✓ P > 30 – elevado.
- ✓ 20 < P ≤ 30 – Significativo.
- ✓ 12 ≤ P ≤ 20 – Baixo a Moderado.

Um segundo conjunto apresentado na tabela 3.2.9, envolve aspectos relacionados com o estado atual da barragem, com a sua história e com a operabilidade e/ou facilidade de manutenção de suas estruturas hidráulicas, permite avaliar o grau de Vulnerabilidade (V) atual.

Tabela 3.2.9. Vulnerabilidade – Estado de Condição Atual da Barragem.

TEMPO DE OPERAÇÃO (6)	EXISTÊNCIA DE PROJETO (AS BUILT) (7)	CONFIABILIDADE DAS ESTRUTURAS VERTEADORAS (8)	TOMADA DE ÁGUA (9)	PERCOLAÇÃO (10)	DEFORMAÇÕES AFUNDAMENTOS ASSENTAMENTOS (11)	DETERIORAÇÃO DOS TALUDES / PARAMENTOS (12)
> 30 anos (0)	Existem projetos <i>as built</i> e Avaliações de Desempenho (1)	Muito Satisfatória (2)	Satisfatória Controle a montante (1)	Totalmente controlada pelo sistema de drenagem (1)	Inexistente (0)	Inexistente (1)
De 10 a 30 anos (1)	Existem projetos <i>as built</i> (3)	Satisfatória (3)	Satisfatória Controle a jusante (4)	Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4)	Pequenos abatimentos na crista (2)	Falhas no rip-rap e na proteção de jusante (3)
De 5 a 10 anos (2)	Só projeto Básico (5)	Suficiente (6)	Aceitável (3)	Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devido ao fluxo (6)	Ondulações pronunciadas, fissuras (6)	Falha nas proteções, drenagens insuficientes e sulcos nos taludes (7)
< 5 anos (3)	Não existe projeto (7)	Não Satisfatório (10)	Deficiente (5)	Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10)	Depressão na crista, afundamentos nos taludes, ou na fundação / trincas (10)	Depressão no rip-rap, escorregamento, sulcos profundos de erosão, vegetação (10)

Fonte: modificado de Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

Nota – Pontuação (10) em qualquer coluna implica intervenção na barragem, a ser definida com base em inspeção especial.

A Vulnerabilidade (V) é calculada a partir da equação:

$$V = \sum_6^{12} V_i \quad (3.9)$$

Resultados:

- ✓ $V > 35$ – elevada.
- ✓ $20 < V \leq 35$ – Moderada a Elevada.
- ✓ $5 \leq V \leq 20$ – Baixa a Moderada.
- ✓ $V < 5$ – Muito Baixa.

O terceiro conjunto, conforme encontrado na tabela 3.2.10, reúne parâmetros que, por seu porte ou magnitude, conferem o valor estratégico associável à barragem no caso de eventual ruptura.

Tabela 3.2.10. Importância estratégica da barragem.

VOLUME ÚTIL ¹ HM ³ (a)	POPULAÇÃO A JUSANTE (b)	CUSTO DA BARRAGEM (c)
Grande > 800 (2)	Grande (2,5)	Elevado (1,5)
Médio 200 a 800 (1,5)	Média (2,0)	Médio (1,2)
Baixo < 200 (1)	Pequena (1,0)	Pequeno (1,0)

Fonte: modificado de Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

1. Volume regularizado anual a partir dos dados de operação.

A Importância (I) é calculada a partir da equação:

$$I = \frac{a + b + c}{3} \quad (3.10)$$

Finalmente, o item Potencial de Risco (PR) sugere a classificação de enquadramento da barragem segundo o nível de risco à sua segurança. Essa classificação está associada a índices do

Potencial de Risco (PR) e de Vulnerabilidade (V). A tabela 3.2.11 ilustra as classes das barragens de acordo com o potencial de risco oferecido por elas.

Tabela 3.2.11. Potencial de Risco.

CLASSE	POTENCIAL DE RISCO (PR)
A	> 65 (ou V=10) Alto
B	40 a 65 Médio
C	25 a 39 Normal
D	15 a 24 Baixo
E	< 15 Muito Baixo

Fonte: Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002)

Notas:

1. Barragens com PR acima de 55 devem ser reavaliadas por critérios de maior detalhe.
2. Barragens incluídas na classe A exigem intervenção, a ser definida com base em inspeção especial.

Contudo, pode-se constatar que há algumas metodologias para a avaliação da segurança de barragens. Para a realização do propósito proposto por este trabalho se poderia empregar as metodologias propostas por KUPERMAN *et al* (1995 e 2001) ou por MENESCAL *et al* (2001), por visarem uma avaliação da performance da estrutura e o seu respectivo potencial de risco para, assim, se chegar às condições de segurança da estrutura.

A dificuldade observada em utilizar estas metodologias reside no fato de serem segmentadas, ou seja, primeiro calcula-se a “periculosidade” e depois o “risco” e conjugando-se os cálculos anteriores, chega-se no resultado final da condição de segurança da barragem. Isto dificulta a objetividade da avaliação, pois se poderia observar todas as questões de segurança numa mesma equação e, assim, se chegar a um resultado final da segurança da estrutura. Além de que não foram incorporados parâmetros ambientais, tal como, eutrofização no reservatório, que colaboram para a falta de segurança de barragens, além de outros que se julga importantes, como por exemplo, a posição da estrutura na cascata (condições a montante). Outro ponto a ser negativamente observado é que todos os parâmetros que entram no cálculo dos índices possuem

um mesmo peso, ou seja, 0,4 para os fatores de periculosidade e 0,6 para os fatores de risco, no caso da metodologia de Kuperman.

3.4) ALGUMAS LEGISLAÇÕES REFERENTES À SEGURANÇA DE BARRAGENS

Neste capítulo, algumas legislações referentes à segurança de barragens serão apresentadas. Foram selecionados países como Brasil, Estados Unidos, Austrália, Canadá, Grã Bretanha e Portugal. Os países de origem aglo-saxônica foram escolhidos por apresentarem uma preocupação de longa data com a questão. Portugal foi escolhido devido a proximidade cultural com o Brasil.

Os países que possuem legislação própria sobre segurança de barragens, ao redor do mundo, são: Austrália, Áustria, Canadá, Reino Unido, Finlândia, França, Alemanha, Holanda, Indonésia, Itália, Noruega, Portugal, România, África do Sul, Espanha, Suécia e Estados Unidos. Nota-se que a maioria deles são países desenvolvidos (LEME, 2000).

3.4.1) A Legislação Brasileira

Ainda não há no Brasil uma legislação aprovada que discorra sobre uma política nacional de segurança de barragens. Há um projeto de lei em discussão – Projeto de Lei nº 1.181, de 2003, que visa estabelecer a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), criar o Conselho Nacional de Segurança de Barragens (CNSB) e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Porém, existe um Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, desenvolvido pelo MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, Secretaria de Infraestrutura Hídrica em julho de 2002. Este Manual vem a ser o documento mais importante do país sobre o assunto.

Ele foi baseado em estudos prévios realizados pela Comissão Regional de Segurança de Barragens de São Paulo (Núcleo Regional de São Paulo), Comitê Brasileiro de Barragens por meio do Guia Básico de Segurança de Barragens, pelo *Bureau of Reclamation, Canadian Dam Association* (CDA) – Associação Canadense de Barragens - e pela COGERH/CE.

O objetivo deste manual é estabelecer parâmetros e um roteiro básico para orientar os procedimentos de segurança a serem adotados em novas barragens, quaisquer que sejam seus proprietários, e manter as já construídas em um estado de segurança compatível com seu interesse social e de desenvolvimento. Pretende-se, também:

- ✓ Definir requisitos mínimos de segurança.
- ✓ Uniformizar os critérios empregados na sua avaliação.
- ✓ Permitir uma supervisão consistente, da segurança de barragens, de modo a conduzir a execução de melhorias, que contribuam para o aumento da segurança dessas estruturas.
- ✓ Contribuir para a legislação e regulamentação da segurança de barragens, em âmbito nacional.

Seguem inúmeras recomendações encontradas no Manual, mas como não se trata de uma lei, não há implicações legais para que se cumpra o estabelecido. Desta forma não há como obrigar os proprietários de barragens a seguir as normas de segurança apontadas. Contudo, caberá ao órgão público de cada estado fazer as vistorias para garantir a operação em segurança das obras já construídas.

De acordo com o citado no Manual, o proprietário e/ou o concessionário é o responsável pela segurança da barragem em todas as fases, isto é, construção, comissionamento, operação e abandono, respondendo pelas conseqüências de eventuais incidentes e acidentes.

Todas as barragens devem ser classificadas quanto às conseqüências de uma ruptura ou dano potencial, em que devem ser considerados, entre outros, os seguintes fatores:

- ✓ Aspectos Sociais;
- ✓ Aspectos Ambientais;
- ✓ Aspectos Estruturais; e
- ✓ Aspectos Econômicos.

Todas as barragens devem ser inspecionadas periodicamente para detectar eventuais deteriorações e recomendar ações remediadoras:

- ✓ Inspeções de Rotina;
- ✓ Inspeções Formais;
- ✓ Inspeções de Especialistas; e
- ✓ Inspeções de Emergência.

Toda barragem deve ser instrumentada de acordo com o seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente. Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites para auxiliar os operadores.

Todas as barragens devem ser submetidas periodicamente a uma reavaliação de suas condições de segurança, segundo sua classificação quanto às conseqüências de ruptura. As eventuais obras de reparo ou de manutenção recomendada nas inspeções, deverão ser implementadas com a máxima brevidade possível, bem como, as providências e recomendações devem ser registradas.

As equipes de operação e manutenção das barragens devem ser treinadas e dispor de um plano de procedimentos de emergência para orientação em casos extremos – tais como a passagem de cheias excepcionais – que contemple, pelo menos:

- ✓ Como proceder em reposta aos alertas da instrumentação;
- ✓ O que fazer para manter a população em alerta em caso de ruptura;
- ✓ Quais as providências a serem tomadas contra danos patrimoniais e ambientais.

As barragens deverão ser dotadas de um plano de emergência, objetivando a segurança das pessoas residentes a jusante, em caso de acidente, visto que uma falha ou ruptura de barragem pode colocar em risco vidas e propriedades. O plano de emergência, também denominado de Plano de Ação Emergencial (PAE), segundo o Manual, deve ser preparado para cada barragem, a menos que as conseqüências da ruptura desta barragem sejam baixas.

O PAE possibilita o planejamento das autoridades competentes, municipalidade, polícia, agências estaduais, companhias de transporte e de outras entidades afetadas numa eventual ocorrência de cheia que possa causar falhas ou rupturas em barragens, além de propiciar uma

coordenação de esforços entre diferentes entidades. Deve ser formalmente escrito e identificar, portanto, os procedimentos e processos que serão seguidos pelos operadores da barragem numa situação de emergência.

O Manual de Segurança e Inspeção de Barragens não pretende substituir especificações, projetos de reabilitação ou construção. Ele não deve compartilhar responsabilidades com as designações de projeto, dos construtores e montadores, e nem deve ser utilizado como manual de inspeção para pessoas não atuantes no ramo da Engenharia Civil.

O uso de critérios diferentes dos ali indicados pode eventualmente ser apropriado ou mesmo necessário, conforme condições específicas de alguns empreendimentos e visando, muitas vezes, a aplicação de novos conhecimentos e de técnicas melhoradas de projeto, e a construção e avaliação de segurança de barragens.

A responsabilidade quanto à interpretação apropriada, à verificação e aplicação do Manual é dos engenheiros empenhados no gerenciamento de segurança de barragens e das organizações ou empresas que os empregam ou contratam.

Contudo, pode-se concluir que apesar de uma legislação específica ainda não ter sido aprovada no Brasil (por este motivo resolve-se não comentar o Projeto de Lei nº 1.181, de 2003, porém está no Anexo C), o Manual de recomendações concernentes à segurança de barragens é um importante e completo subsídio para que se possa tratar do assunto com seriedade e segurança.

A única implicação negativa é o fato de não se tratar de um documento legal, indicando apenas diretrizes de comportamento e responsabilidades perante as barragens e, assim, não tendo uma força legal que implique responsáveis legítimos em caso de um acidente ou incidente. Portanto, seria de suma importância que as autoridades competentes chegassem a um consenso quanto a uma legislação adequada e a aprovassem o mais rápido possível, visto que há casos de acidentes com barragens sendo reportados.

3.4.2) A Legislação Americana

Neste tópico, é interessante observar como é feita a articulação no governo americano quanto à questão da segurança de barragens. É um assunto complexo e vêm a ser tratado por vários órgãos governamentais diferentes, indo desde o poder federal até representantes civis. Pode ser utilizado como um modelo de atribuições e poderes que concernem ao assunto, a fim de se assegurar o cumprimento das legislações relacionadas a segurança de barragens, sejam as leis de âmbito federal, estadual ou municipal.

Segundo a *Federal Emergency Management Agency - FEMA (2005)*, os proprietários de barragens são responsáveis pela segurança, manutenção, melhoria e reparos de suas barragens. Nos Estados Unidos, embora a maior parte da infraestrutura, tais como pontes, rodovias, etc, pertença a entidades públicas, a maioria das barragens é da iniciativa privada. Quanto às questões de regulamentação, os governos estaduais são responsáveis por aproximadamente 95% das barragens listadas no *National Inventory of Dams (NID)* – ou Inventário Nacional de Barragens – e órgãos federais regulamentam aproximadamente 5% das barragens que constam no NID. Considerando-se a natureza difusa das questões de propriedade de barragens versus a regulamentação, pode-se dizer que a questão da segurança de barragens não é freqüentemente uma questão unicamente federal, estadual ou local.

A figura 3.3.1 mostra a distribuição dos proprietários de barragens nos EUA.

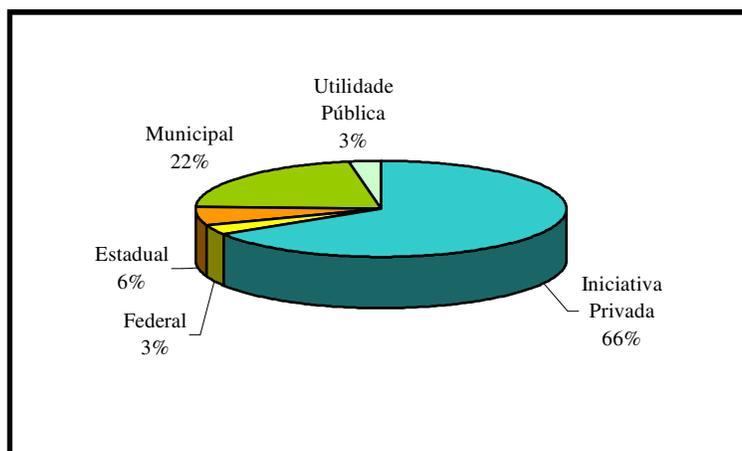


Figura 3.3.1. Proprietários de Barragens nos Estados Unidos

Fonte: FEMA, 2005.

A segurança de barragens pode afetar pessoas e propriedades que estejam entre territórios de âmbito local, estadual e até em fronteiras nacionais. Um incidente numa área pode afetar o comércio, navegação e a geração e distribuição de energia, ou, ainda, pode causar danos severos em outras áreas. Como consequência, o governo federal desempenha um papel central na coordenação dos esforços federais, estaduais e locais, a fim de prover barragens seguras aos seus cidadãos.

Em 2004, foram comemorados os 25 anos de liderança da *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) no Programa Nacional de Segurança em Barragens (*National Dam Safety Program*). Sob a direção da FEMA, especialistas, órgãos federais e outros têm desenvolvido e vêm provendo programas focados, coordenados e direcionados nas questões de segurança. O Programa Nacional de Segurança em Barragens está trabalhando com os estados individualmente por meio do *Association of State Dam Safety Officials* (ASDSO), do *United States Society on Dams* (USSD), órgãos federais e outras entidades relacionadas com o assunto da segurança em barragens a fim de encorajar a responsabilidade da comunidade nas questões de segurança (FEMA, 2005).

Duas entidades federais desempenham um importante papel em delinear a direção das diretrizes que envolvem o Programa Nacional de Segurança em Barragens: o *National Dam Safety Review Board* - Comissão Nacional Revisora em Segurança de Barragens – e a *Interagency Committee on Dam Safety* (ICODS) – Comitê “Pluri-governamental” de Segurança em Barragens e ambos são presididos pela FEMA.

Na tabela 3.3.1 pode-se observar quem são os componentes do ICODES.

Tabela 3.3.1. Órgãos Governamentais que formam o ICODES

<i>Órgãos do ICODES</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Departamento de Agricultura • Departamento de Defesa • Departamento de Energia • Departamento do Interior • Departamento do Trabalho, Minas e de Saúde • Agência Federal de Gerenciamento de Emergências • Comissão Federal Reguladora de Energia • Departamento do Estado, Fronteiras Internacionais e Comissão da Água (U.S. Section) • Comissão Reguladora Nuclear • Autoridade do Vale do Tennessee

Fonte: FEMA, 2005.

O ICODS foi estabelecido em 1980 para estabelecer e manter um programa federal efetivo, políticas e guias que aumentem a segurança de barragens e sirva de fórum permanente na coordenação federal das atividades relacionadas a segurança e proteção de barragens. Foi formalmente estabelecido por meio da Lei 104-303 de 1996 e é composto por representantes de órgãos federais que constroem, possuem, operem ou regulamentem barragens.

Até janeiro de 2003, o ICODS era responsável por coordenar a maioria das atividades federais e estaduais regidas pelo Programa Nacional de Segurança e Proteção de Barragens, por meio de seus sub-comitês. Esta responsabilidade foi passada ao *National Dam Safety Review Board* - Comissão Nacional Revisora em Segurança de Barragens - por meio do *Dam Safety e Security Act of 2002* – Decreto de Segurança e Proteção de Barragens de 2002.

Mediante poder outorgado pelas Leis 104-303 e 107-310, a *National Dam Safety Review Board* - Comissão Nacional Revisora em Segurança de Barragens - é responsável por aconselhar o diretor da FEMA quanto ao estabelecimento das prioridades do Programa Nacional de Segurança e Proteção de Barragens e, ainda, deliberar sobre as implicações das questões concernentes à segurança de barragens. O *National Dam Safety Review Board* - Comissão Nacional Revisora em Segurança de Barragens - também auxilia a FEMA a ter uma visão geral sobre o desenvolvimento e apoio dos programas estaduais de segurança de barragens, por meio da revisão do progresso do estado em atender os critérios estabelecidos pela *Dam Safety and Security Act of 2002* - – Decreto de Segurança e Proteção de Barragens de 2002 - e estabelecer custos razoáveis para a implementação de um programa estadual de segurança de barragens.

Os membros constituintes da *National Dam Safety Review Board* - Comissão Nacional Revisora em Segurança de Barragens - são: um representante da FEMA (o presidente da Comissão), representantes de quatro agências federais que constituem o ICODS, cinco membros selecionados pelo diretor da FEMA dentre os agentes estaduais de segurança de barragens e um membro também selecionado pelo diretor da FEMA a fim de representar o setor privado.

Contudo, pode-se concluir que a questão de segurança e proteção de barragens, nos EUA, engloba tanto os governos federal, estaduais e municipais. Esta segmentação parece adequada visto que se respeita diferenças regionais, muito embora, todas as iniciativas estão sendo guiadas

e inspecionadas por um único órgão – a FEMA – o que é importante para facilitar o cumprimento das leis e responsabilidades. As funções de todos os envolvidos estão claramente definidas o que facilita o bom andamento do Programa Nacional de Segurança e Proteção de Barragens. Este modelo poderia ser adequado para as condições brasileiras e ser institucionalizado aqui também.

3.4.3) A Legislação Australiana

Em 1978 a Austrália lançou o *Dam Safety Act 1978* - Decreto de Segurança de Barragens de 1978 -, porém em dezembro de 2000 lança o *Dam Safety Code* – Código de Segurança em Barragens -, que é uma complementação do primeiro conjunto de lei. O propósito deste código é assegurar que barragens sejam adequadamente gerenciadas de modo a se evitar operações inseguras e/ou rompimentos que possam causar perda de vidas e estragos a bens materiais e ao meio ambiente (AUSTRALIAN, 2000).

Esta legislação prevê que todo barramento deve ser operado e mantido de acordo com as diretrizes da ANCOLD - Comissão Australiana de Grandes Barragens (*Australian Commission on Large Dams*) - e da *NSW Dam Safety Commmittee Technical Guidelines* – NSW Diretrizes Técnicas do Comitê de Segurança de Barragens.

Para cada empreendimento, há a necessidade de se produzir um relatório anual de segurança e deve-se desenvolver e manter um programa de fiscalização de barragens. Este programa de vigilância deve ser desenvolvido e mantido de acordo com as práticas vigentes de engenharia definidas pelos guia da ANCOLD e da *NSW Dam Safety Commmittee Technical Guidelines*, ser elaborado perante a supervisão direta de um engenheiro de segurança de barragens, incluindo-se a fiscalização de rotina e, ainda, apresentar um relatório completo com o programa de fiscalização feito nos últimos cinco anos.

Todo barramento deve, num prazo de seis meses após a obtenção da licença de operação e depois disto a cada ano, preparar um rascunho do plano de emergência de barramentos que o

responsável possua ou opere e ainda submeter este plano ao Chefe Executivo para a sua aprovação. Todo plano de emergência deve conter ao menos informações como:

- ✓ Detalhes de situações de emergência: situações de falha, enchentes, sismos e ocorrências pouco usuais.
- ✓ Mapas de inundação em caso de falha, falha iminente ou transbordamentos.
- ✓ Definição de papéis entre os funcionários para trabalhar no empreendimento e procedimentos a serem executados.
- ✓ Identificação de organizações relevantes ao serviço de emergência.
- ✓ Prescrever prontidão a emergências e classificação das mesmas.
- ✓ Prescrever comunicação e responsabilidades de cada autoridade envolvida, como por exemplo, o gerente ou responsável da barragem, engenheiro de segurança, polícia federal australiana, o departamento de emergências da polícia federal, entre outros.
- ✓ Prover detalhes sobre todos os equipamentos de segurança instalados.

O relatório sobre a ocorrência de um evento de emergência deve conter detalhes sobre o evento em questão como data e hora, notificações referentes ao evento, notificação aos órgãos envolvidos, o status da barragem e detalhes de manutenção e outras ações a serem tomadas no empreendimento para que se assegure a segurança a longo prazo.

Por fim, todo barramento deve possuir registros precisos e compreensíveis da anuência das prerrogativas existentes nos guias da ANCOLD e da *NSW Dam Safety Commmittee Technical Guidelines* - NSW Diretrizes Técnicas do Comitê de Segurança de Barragens - e conformidade com o *Dam Safety Code* - Código de Segurança em Barragens.

Contudo, pode-se concluir que a Austrália possui um código de leis bastante completo no que concerne ao assunto de segurança em barragem. Um denominado de *Dam Safety Act 1978* - Decreto de Segurança de Barragens de 1978 -, que engloba questões mais abrangentes de segurança, e este complemento de fácil compreensão denominado *Dam Safety Code* - Código de Segurança em Barragens.

Assim, como ocorre na legislação britânica e se opondo à portuguesa, a legislação australiana não prevê as partes da barragem que devem ser monitoradas e vistoriadas, deixando este assunto a encargo de entidades especialistas em engenharia. Também não discorre sobre o tamanho das barragens que são submetidas ao código, deixando a nítida impressão que se aplica a qualquer porte de empreendimento.

3.4.4) A Legislação Britânica

O *Reservoir (Safety Provision) Act* – Decreto da Provisão da Segurança em Reservatórios - feito em 1930 foi o primeiro documento legislativo do Reino Unido, que trata especificamente da segurança de barragens. Sua elaboração se deu após a ruptura de duas barragens em 1925 que ocasionaram a morte de 16 pessoas.

Segundo WEST *et al* (1998), em 1975, o *Reservoirs Act 1975* (Decreto sobre Reservatórios de 1975) foi elaborado para suprir as deficiências do *Reservoir (Safety Provision) Act* – Decreto da Provisão da Segurança em Reservatórios. Estas deficiências eram basicamente duas: a falta da identificação da entidade responsável pela observação do cumprimento da lei e previa que inspeções formais de segurança fossem realizadas a cada 10 anos. Isto gerava uma falta de monitoramento do comportamento da barragem no período entre as inspeções.

O *Reservoirs Act 1975* - Decreto sobre Reservatórios de 1975 - determina que todos os barramentos com capacidade de armazenamento superior a 25.000 m³ estão abrangidos por esta lei. Descreve as atribuições da autoridade responsável pela aplicação da mesma, do dono da obra e de dois técnicos responsáveis pelas inspeções e supervisão do empreendimento.

Os técnicos, engenheiros de inspeção, são nomeados pelo Governo Britânico após passarem por teste que avalia suas capacidades pelo *Dam Engineers Panel* (Painel de Engenheiros de Barragens) da *Institution of Civil Engineers* (Instituição de Engenheiros Civis). A nomeação tem validade de cinco anos e após este período o engenheiro deverá se re-candidatar.

Estes técnicos têm por responsabilidade a supervisão da construção de barragens e a condução de vistorias formais que devem ser repetidas num período máximo de 10 anos.

Os técnicos também têm como função o acompanhamento da exploração e do monitoramento da obra e seu entorno. Este acompanhamento se dá com uma frequência maior, por meio da medição diária do nível d'água no reservatório e da pluviosidade entre outras, e gera um relatório anual identificando quaisquer alterações ocorridas que possam afetar as condições de segurança da barragem e das populações e infraestruturas localizadas a jusante.

A responsabilidade de fiscalizar se a legislação está sendo adequadamente respeitada ficou a cargo do poder local, ou seja, do município onde o empreendimento esteja localizado. A autoridade local tem as seguintes atribuições:

- ✓ pode requerer do dono da obra a nomeação de um técnico em segurança, no caso da ausência de uma nomeação formal do governo britânico, num espaço máximo de 28 dias. Caso o dono não cumpra o estabelecido, o poder local nomeará um profissional devidamente qualificado e posteriormente cobrará do dono do empreendimento as despesas decorrentes do processo e dos serviços prestados;
- ✓ caso uma barragem não respeite às condições de segurança, pode mandar executar obras necessárias para que o empreendimento adquira condições de conformidade e posteriormente ser reembolsada pelo dono do empreendimento; e
- ✓ ela tem livre acesso para vistoriar e realizar obras que assegurem a segurança da barragem.

A Legislação Britânica foi redigida de tal forma a concentrar a sua aplicação na fiscalização da segurança dos empreendimentos existentes e na certificação de barragens finda a sua construção ou perante modificações executadas. Todas as recomendações que visem o aumento da segurança são reconhecidas como lei e assim estabelece responsabilidade criminal individual do dono, nos casos de não cumprimento da legislação.

São classificados como atos criminosos: não acatamento das instruções dadas pela autoridade responsável, prestação deliberada de informações falsas e falta de notificação da autoridade em casos que há obrigatoriedade da mesma, como, por exemplo, quando modificações foram efetuadas no empreendimento.

A Legislação Britânica não define o que exatamente deverá ser vistoriado pelo técnico, deixando os critérios a serem avaliados a encargo de instituições científicas renomadas como o *Institution of Civil Engineers* – Instituição de Engenheiros Civis -, *Building Research Establishment* – Pesquisa da Construção -, entre outras. Isto pode ser muito interessante visto que o melhoramento ou acréscimo de informações pode ser constantemente realizado, assim que novas tecnologias se tornem disponíveis ou que se perceba alguma falha ou deficiência em avaliações anteriores.

Estas instituições preparam manuais técnicos, parecidos com o existente no Brasil (Manual de Segurança e Inspeção de Barragens), que contém indicações específicas relativas ao projeto, construção, exploração e ruptura de barragens. Como exemplo destes manuais, pode-se citar o BRE (1990. 1991. 1996), CIRIA (1996) e ICE (1996). Existe um roteiro simplificado desenvolvido pelo *Institution of Civil Engineers* – Instituição de Engenheiros Civis - dirigido a técnicos novatos que traz um resumo nas questões de segurança de uma barragem, legislação, conteúdo de manuais técnicos e investigações a serem realizadas.

Contudo, pode-se afirmar que a Legislação Britânica aborda a questão da segurança de barragens de uma maneira abrangente e bem estruturada. Desenvolveram uma das primeiras legislações sobre o assunto e conseguiram aprimorá-la com a experiência adquirida ao longo de quase um século de preocupações relacionadas a segurança de barragens.

3.4.5) A Legislação Canadense

A Legislação Canadense é de suma importância visto que o “Manual de Segurança e Inspeção de Barragens” foi baseado nas diretrizes que compõem o *Dam Safety Guidelines* – Guia da Segurança em Barragens -, ou seja, o manual canadense correspondente ao brasileiro.

Segundo a CDA - CANADIAN DAM ASSOCIATION (2005), a regulamentação da segurança em barragens no Canadá é principalmente de responsabilidade provincial. Órgãos federais têm jurisdição sobre alguns aspectos relacionados com cursos d’água situados na divisa com os Estados Unidos. Algumas províncias aprovaram regulamentações específicas em segurança de barragens, enquanto outras fazem uso de Decretos ou Regulamentações federais existentes, como o *Water Act* – Decreto da Água -, para conseguir aprovações de projeto, construção, inspeção, operação, reabilitação, alteração ou abandono de barragens. Em quaisquer casos, as regulamentações legais se sobrepõem as diretrizes estabelecidas por entidades não governamentais.

Em 1995, após três anos de esforços de grupos de trabalho de todo o país, a *Canadian Dam Safety Association* (CDSA) – Associação Canadense em Segurança de Barragens - publicou o *Dam Safety Guidelines* – Guia da Segurança em Barragens. Em 1997, o CDSA se juntou ao *Canadian Committee on Large Dams* (CANCOLD) – Comitê Canadense de Grandes Barragens - para formar o *Canadian Dam Association* (CDA) – Associação Canadense de Barragens. O CDA publicou uma edição revisada do *Dam Safety Guidelines* – Guia da Segurança em Barragens em 1999.

Os Princípios, as Práticas e os Procedimentos podem ser aplicados a qualquer barragem – nova, existente ou desativada – conforme a seguinte definição: barragens são definidas como uma barreira construída com a capacidade de armazenar água, ou qualquer fluido, contanto que tenha a capacidade de armazenar 30.000 m³ ou mais e tenha 2,5 metros ou mais de altura.

Todas as legislações canadenses específicas em segurança de barragem existentes são guiadas por alguma legislação mais abrangente, como ilustrado na tabela 3.3.2.

Tabela 3.3.2. Resumo das Questões Legais nas Províncias Canadenses.

PROVÍNCIA/ TERRITÓRIO	ÓRGÃO	DECRETO	REGULAMENTAÇÕES	GUIAS	NÚMERO APROXIMADO DE BARRAGENS
<i>Columbia Britânica</i> Fornecimento de Água	<u>Land and Water</u> <u>B.C.</u>	<u>Water Act</u>	<u>Dam Safety</u> <u>Regulation</u>	<u>Inspection and</u> <u>Maintenance -</u> <u>Plan Submissions</u>	2000
<i>Columbia Britânica</i> Barragem de Rejeito	B.C. Ministry of Energy and Mines – Mining Operations Branch	Mines Act	<u>Health, Safety and</u> <u>Reclamation Code</u>	Reference CDA Guidelines	118
<i>Alberta</i> Fornecimento de Água & Rejeito	<u>Environment</u>	<u>Water Act</u>	<u>Water</u> <u>Ministerial</u> <u>Regulation</u>	<u>Dam & Canal Safety -</u> <u>Inspection of Small</u> <u>Dams</u>	1360 Água 40 Rejeito
<i>Saskatchewan</i> Fornecimento de Água	<u>Watershed</u> <u>Authority</u>	<u>Watershed</u> <u>Authority Act</u> ¹	Não	Não	1300 ²
<i>Saskatchewan</i> Rejeito	<u>Environment</u>	<u>Assessment</u> <u>Act</u>	Não	Não	15
<i>Manitoba</i>	<u>Conservation</u>	Water Rights Water Power Water Resources Environment	Não (Em Planejamento, dentro de 2-5 anos)	Não	570
<i>Ontario</i> Fornecimento de Água & Rejeito	<u>Natural Resources</u>	Lakes and Rivers Improvement (LRIA)	Não (Em Planejamento, dentro de 2 anos)	LRIA Guidelines and Criteria for Approvals	2400
<i>Quebec</i>	<u>Environment</u>	<u>Dam Safety</u>	<u>Dam Safety</u> <u>Regulation</u>	Não	5200
<i>Nova Brunswick</i>	<u>Environment</u> <u>and Local</u> <u>Government</u>	Clean Water	Sim ³	Não	240
<i>Nova Escócia</i>	<u>Environment</u> <u>and Labour</u>	Não	Não	Não ⁴	200
<i>Terranova e</i> <i>Labrador</i>	<u>Environment and</u> <u>Conservation</u>	<u>Water Resources</u> <u>Act</u> ⁵	Não (Em Planejamento, Dentro de 2-5 anos)	Não	500
<i>Ilha de Príncipe</i> <i>Eduardo</i>			Não	Não	N/D (não disponível)
<i>Yukon</i>	<u>Water Resources</u> <u>Section</u>	Waters Act (Yukon)	Não	Não	21
<i>Territórios Nórdicos</i>	<u>MVLWB</u> ⁶	<u>MVRMA Waters</u> <u>Act</u>	<u>MVRMA</u> <u>Regulations</u>	Não	N/D (não disponível)
<i>Território Nunavut</i>	Não	Não	Não	Não	Desconhecido

Fonte: modificado de Canadian Dam Association, 2005.

Observações:

1. Aprovações são necessárias no *Saskatchewan Watershed Authority Act* – Decreto da Autoridade sobre Cursos D'água de Saskatchewan - em Saskatchewan para construir e operar barragens para fornecimento de água.
2. As 1.300 barragens para fornecimento de água em Saskatchewan têm capacidade de armazenamento de 40.000 m³ ou mais. Aproximadamente 8.960

barragens existentes na província possuem um volume de 1.000 m³ ou mais.

3. Segundo o *Watercourse Alteration Regulation* – Regulamentação da Alteração de Cursos D'água -, uma autorização é requerida para a construção de qualquer nova barragem ou dique em Nova Brunswick.

4. O Manual da CDA é o padrão seguido na Nova Escócia. Um dos requisitos para a obtenção da licença de operação é o demonstrativo de conformidade com as diretrizes que constam no Manual da CDA.

5. Segundo o *Water Resources Act* (Decreto dos Recursos Hídricos), uma autorização é requerida para a construção de qualquer nova barragem ou dique em Terranova e em Labrador.

6. O *Mackenzie Valley Resource Management Act* (MVRMA) – Decreto do Gerenciamento dos Recursos do Vale Mackenzie - passou ser adotado em 1998 como resultado dos acordos entre *Gwich'in e Sahtu Comprehensive Land Claims* – Clamadores de terras Gwich' in e Sahtu. O Decreto criado para o co-gerenciamento de ambos os assentamentos *Gwich'in e Sahtu* estão estabelecidos no *Mackenzie Valley Land and Water Board* (MVLWB) – Terras do Vale Mackenzie e Comissão da Água.

Pode-se afirmar que das treze províncias/territórios canadenses, quatro delas possuem legislação específica – cerca de 31% - e três estão providenciando suas próprias legislações – cerca de 23%. Juntos somam 54% das províncias com legislações específicas próprias. Considerando o fato de não ser compulsória esta legislação, o número encontrado é bastante expressivo, denotando uma clara preocupação nacional com o assunto de segurança em barragens.

Como um exemplo de legislação específica no assunto, pode-se citar a legislação vigente na província da Columbia Britânica conhecida como *British Columbia Dam Safety Regulation* (Regulamento da Segurança em Barragens da Columbia Britânica). Esta legislação foi delineada a partir da *Water Act* (Decreto da Água), legislação concernente a questões ligadas ao uso dos recursos hídricos no país.

Contudo, pode-se notar que a legislação canadense federal é bastante abrangente deixando a encargo das províncias a regulamentação mais específica no que concerne à segurança de barragens. O que é importante ressaltar é a preocupação em manter o Manual de Segurança (*Dam Safety Guidelines*) sempre atualizado, pois em dez anos de existência já sofreu três alterações.

3.4.6) A Legislação Portuguesa

A principal lei portuguesa em segurança de barragens é o Decreto-Lei 11/90, de 6 de janeiro e aprova o Regulamento de Segurança de Barragem – RSB – (MOPTC, 1990). Aplica-se à:

- ✓ Barragens com mais de 15 metros de altura (da fundação a crista da barragem);
- ✓ Barragens com altura inferior à 15 metros de altura mas com a capacidade do reservatório superior a 100.000 m³; ou
- ✓ Qualquer barragem que apresentar um risco elevado, segundo a entidade responsável por sua fiscalização.

Segundo WEST *et al* (1998), a responsabilidade de aplicação da legislação é de entidades como o INAG (Instituto Nacional da Água), o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), o SNPC (Serviço Nacional de Proteção Civil), o dono da barragem e a Comissão de Segurança de Barragens. A legislação engloba também um glossário de termos e especifica vários requisitos em termos de projeto e planos de monitoramento durante o tempo de vida do empreendimento, assim como aspectos de segurança a serem considerados durante a fase de construção, primeiro enchimento, exploração, abandono e demolição.

O Capítulo IV, Artigo 11^o trata das inspeções visuais a serem realizadas nas barragens e prevê os seguintes aspectos:

1. *As inspeções visuais têm por objetivo:*

- a.) *A detecção de sinais ou evidências de deteriorações ou sintomas de envelhecimento;*
 - b.) *A detecção de anomalias do sistema de observação instalado;*
2. *O plano de execução deve prever a execução dos três tipos de inspeção visual seguintes:*
- a.) *Inspeção visual de rotina, a cargo dos agentes responsáveis pela exploração do sistema de observação, a efetuar com uma frequência mínima adequada às fases da vida e à importância da obra;*
 - b.) *Inspeção visual de especialidade, a cargo dos responsáveis pela elaboração dos relatórios de comportamento da barragem, a efetuar com uma frequência mínima adequada às fases da vida e à importância da obra e à evolução das propriedades dos materiais;*
 - c.) *Inspeção visual de carácter excepcional, a cargo dos responsáveis atrás referidos e do LNEC, nos casos em que lhe caiba uma intervenção de carácter sistemático, imediatamente após ocorrências tais como sismos importantes, grandes cheias, esvaziamentos totais ou outros abaixamentos significativos do nível da água.*
3. *O plano de observação deve conter indicações sobre:*
- a.) *Os locais e aspectos a ter em especial consideração em face das características da obra a observar;*
 - b.) *A apresentação dos resultados relativos a cada um dos tipos de inspeção referidos no número anterior.*

O Capítulo V: Fase de Construção, Artigo 34^o também trata das inspeções visuais e seu conteúdo é:

1. *A detecção, durante as inspeções visuais referidas no artigo 11^o, de sinais ou evidências de deterioração ou de sintomas de envelhecimento deve ser, sempre que possível, imediatamente seguida de referenciação, no respectivo local, com uma marca ou dispositivo apropriado, devidamente datado, devendo também ser obtidas fotografias ilustrativas da deterioração.*

2. *Os agentes encarregados das inspeções visuais de rotina devem:*
 - a.) *Elaborar mensalmente um relatório sucinto referindo as ocorrências mais significativas do ponto de vista da segurança verificadas desde a elaboração do último do mesmo tipo;*
 - b.) *Elaborar um relatório de pormenor, no caso de detecção de um novo indício de deterioração, que permita a sua referenciação;*
 - c.) *Enviar imediatamente os relatórios referidos aos responsáveis pela segurança da obra.*

3. *A cada inspeção visual de especialidade deve corresponder um relatório sucinto, a enviar à Autoridade, referindo a evolução verificada desde a última inspeção do mesmo tipo, devendo as ocorrências significativas do ponto de vista da segurança ser registradas, no final da inspeção, no livro técnico da obra.*

4. *A cada inspeção de carácter excepcional, cujos aspectos mais importantes para a segurança da obra devem ser registrados no final da inspeção, no livro técnico da obra, corresponderá um relatório do qual conste:*
 - a.) *Descrição pormenorizada das ocorrências que motivaram a inspeção e dos indícios de deterioração detectados;*
 - b.) *Avaliação sumária das prováveis condições de segurança da obra, indicando, quando se justifique, as eventuais medidas corretivas a empreender;*
 - c.) *Eventuais estudos a desenvolver e sua urgência.*

No Capítulo VII: Fase de exploração, Artigo 34º, tem-se:

1. *As inspeções visuais referidas no artigo 11º devem incidir sobre todas as zonas da obra, incluindo obrigatoriamente o coroamento, os encontros, a parte emersa do paramento de montante, o paramento de jusante, as galerias, os maciços de fundação*

e das encostas a montante e a jusante da barragem e as estruturas dos órgãos de segurança e exploração.

2. *Compete aos responsáveis pela segurança de cada obra elaborar uma lista referindo as zonas e os aspectos a ter em especial consideração nas inspeções visuais, em face das características da obra.*
3. *A detecção de deteriorações deve ser, sempre que possível, imediatamente referenciada e datada no local e acompanhada de fotografias.*
4. *As inspeções visuais de rotina, de especialidade e excepcionais, devem ser efetuadas de acordo com o previsto no artigo 22º, com as necessárias adaptações.*

Ainda no Capítulo VII, os artigos 36º e 38º prevêm inspeções visuais após cheias e sismos, respectivamente. Finalmente no Capítulo IX: Disposições transitórias relativas a obras existentes, o Artigo 47º discorre sobre inspeções às obras existentes:

1. *Com vista à aplicação das disposições do RSB às obras existentes à data da sua entrada em vigor, deve a Autoridade promover o seu levantamento e a descrição sumária da obra, incluindo, designadamente:*
 - a.) *A identificação da obra, referindo o nome, ano de conclusão, curso de água, povoação mais próxima, concelho, tipo estrutural, posição e tipo dos órgãos de impermeabilização, tipo de fundação, altura, comprimento do coroamento, volume do corpo da barragem, volume da albufeira, finalidades da obra, capacidade máxima e tipo dos descarregadores;*
 - b.) *A identificação do dono da obra, do autor do projeto e do construtor;*
 - c.) *Características do vale a jusante, com indicação, em primeira aproximação, de aspectos que podem ser afetados pela barragem, tais como população, ocupação agrícola e industrial, instalações e equipamentos sociais e vias de comunicação.*

No Capítulo VII, o Artigo 40º trata da análise do comportamento e avaliação de segurança e dispõe o seguinte:

1. *A análise do comportamento e a avaliação de segurança da barragem ... devem ser efetuadas mediante:*

- a.) *Análise dos dados, comparando-os com os valores limites não ultrapassáveis em condições normais de exploração;*
- b.) *Análise dos resultados, comparando-os com valores previstos pôr modelos de comportamento;*
- c.) *Estudo das causas às quais pode ser atribuída a ocorrência de valores previstos por modelos, do que deve resultar a sua reformulação e a conseqüente reavaliação das condições gerais de segurança da obra;*
- d.) *Análise global, após cada inspeção visual de especialidade, dos resultados desta inspeção e dos resultados da observação anteriormente obtidos;*
- e.) *Análise dos resultados de todas as observações efetuadas e determinação dos parâmetros definidores do comportamento da obra, com vista ao controle de segurança no período subsequente, que devem ser efetuadas no final do primeiro período de exploração normal e, no período posterior, no final de cada cinco inspeções visuais de especialidade consecutivas.*

2. *As análises dos dados e dos resultados ... devem ser efetuadas de preferência no local da obra, de modo tanto quanto possível automatizado, utilizando rotinas de validação.*

3. *A Autoridade deve ser informada da ocorrência de qualquer anomalia de comportamento.*

4. *Devem ser elaborados relatórios sobre o comportamento da barragem com a freqüência prevista no plano de observação, obedecendo, em princípio, ao esquema seguinte:*

- a.) *Um relatório correspondente à análise, compilação e interpretação de toda informação recolhida.*

Em Portugal, houve um grande número de barragens construídas na década de 90, portanto a legislação dá uma ênfase especial às barragens novas, porém contempla também barragens construídas anteriormente. Durante a fase de construção, o Regulamento prevê a necessidade da elaboração do chamado “livro técnico da obra”, onde dados do projeto de execução, um resumo

dos fatos ambientais com maior relevância para a obra, relatórios de inspeções de segurança subsequentes e alterações do projeto inicial e/ou da obra após a construção, deverão estar devidamente registrados. Este Livro será peça fundamental à medida que as barragens forem envelhecendo e as inspeções de segurança identificarem quaisquer anomalias e, assim, se fizer necessárias análises mais detalhadas. É fato que se estes registros existissem para as barragens mais antigas, as avaliações de segurança das obras seriam bem mais precisas e confiáveis.

Para o presente estudo, entretanto, o Decreto-Lei nº 409/93 de 14 de dezembro de 1993 – MOPTC, 1993 - que aprova o Regulamento de Pequenas Barragens também é de suma importância; as barragens em estudo são em sua grande maioria de pequeno porte. Ele completa o RSB e aplica-se à:

- ✓ Barragens com altura igual ou inferior a 15 metros (da fundação a crista da barragem); ou
- ✓ Barragens com reservatório com capacidade de armazenamento menor que 100.000 m³.

Este decreto é composto de oito capítulos e contempla os seguintes assuntos:

- ✓ Capítulo I: Disposições Gerais.
 - Artigo 1º: Objeto;
 - Artigo 2º: Elaboração dos Projetos, direção técnica das obras e responsabilidades pela exploração;
 - Artigo 3º: Organização dos Projetos;
 - Artigo 4º: Aprovação dos Projetos;

- ✓ Capítulo II: Reconhecimento da Fundação e da Albufeira (ou seja, do reservatório).
 - Artigo 5º: Estudo do maciço de fundação;
 - Artigo 6º: Estudos relativos à albufeira;

- ✓ Capítulo III: Materiais de Construção.

- Artigo 7º: Locais de empréstimo;
- Artigo 8º: Estudo dos materiais de construção

✓ Capítulo IV: Projeto.

- Artigo 9º: Fundações;
- Artigo 10º: Descarregador de cheias;
- Artigo 11º: Folga;
- Artigo 12º: Largura do coroamento;
- Artigo 13º: Tomada d'água e descarga de fundo;
- Artigo 14º: Dimensionamento da estrutura;
- Artigo 15º: Filtros;
- Artigo 16º: Revestimento dos paramentos das barragens de aterro;

✓ Capítulo V: Construção.

- Artigo 17º: Saneamento das fundações;
- Artigo 18º: Compactação dos aterros;
- Artigo 19º: Fabrico e colocação do betão;
- Artigo 20º: Controle da construção;

✓ Capítulo VI: Exploração.

- Artigo 21º: Operação dos órgãos de segurança e exploração;
- Artigo 22º: Conservação das obras e equipamentos;
- Artigo 23º: Aspectos ambientais;

✓ Capítulo VII: Observação das Obras.

- Artigo 24º: Comportamento na fase do primeiro enchimento
- Artigo 25º: Observação durante a fase de exploração;

✓ Capítulo VIII: Disposição Final.

- Artigo 26º: Revisão do regulamento.

Em 1993, o MDNAIAIEOPTCARN publica a Portaria nº847/93, DR 213/93, Série I-B que aprova as normas de observação e inspeção de barragens. Esta portaria tem a finalidade de estabelecer princípios gerais que devem orientar a execução das inspeções em barragens, de modo a permitir a aferição dos critérios de projeto e a avaliação das condições de segurança ao longo da vida das obras.

Contudo, as autoridades portuguesas demonstram uma preocupação séria a respeito da segurança de barragens, pois conseguiu aprovar pelo menos três importantes leis que dão subsídio a manutenção da segurança de suas barragens. A primeira é mais genérica – Regulamento de Segurança de Barragens – e visa, principalmente, barragens de grande porte. A segunda aprova as normas de observação e inspeção de barragens que vêm a complementar a primeira. E a terceira, que apesar de se tratar de um regulamento específico para empreendimentos de pequeno porte, mostra-se abrangente e completa, pois contempla todas as “fases de vida” de uma barragem.

Pode-se observar que as legislações existentes relacionadas à segurança de barragens ou mesmo a organização governamental exigida para um bom funcionamento do programa de segurança de barragens é algo complexo e deve ser muito bem elaborado e articulado. Nota-se que há muitos modelos a serem seguidos pelo Brasil, visto que se pode contar com uma gama mundial incrível de opções que já estão sendo utilizadas e, assim, testadas. Talvez, o modelo português possa ser um bom exemplo para o Brasil devido à proximidade cultural dos dois povos e sua legislação já está em vigor a mais de uma década.

4) QUESTÕES AMBIENTAIS QUE AFETAM A SEGURANÇA DE BARRAGENS

Este capítulo vai tratar de como alguns fatores ambientais podem interferir na segurança de uma barragem. Para maiores informações sobre o assunto recomenda-se a leitura do Capítulo 13 – Reservatório e Efeitos no meio Ambiente - do “Manual de Segurança e Inspeção de Barragens” - MIN, 2002 - que discorre sobre os aspectos relacionados ao assunto.

DIXON, TALBOT e LE MOIGNE (1989) fazem algumas considerações sobre os impactos ambientais, que podem ou não afetar a segurança de uma barragem, decorrentes da construção das mesmas para quaisquer fins. Para os autores, o termo “impacto ambiental”, em sua ampla definição, inclui tanto os aspectos físicos quanto sociais.

Mudanças na quantidade e qualidade da água, a erosão do solo e/ou a sedimentação são impactos ambientais no meio físico. O reassentamento involuntário da população e a descontinuidade de seu sistema produtivo e estilo de vida são impactos sociais. Para DIXON *et al* (1989) estas considerações são necessárias para que se possa enfatizar que todos esses impactos juntos são causados por um projeto de construção de barragem e afetam a viabilidade do projeto e seus benefícios e custos.

Portanto, seria um erro levar em consideração apenas aspectos físicos e sociais. Os impactos indiretos, tais como acidentes e incidentes relacionados à estrutura, também precisam ser levados em conta tanto quanto a produção direta de água para irrigação, produção de energia, controle de enchentes ou suprimento de água para uso doméstico, recreativo ou industrial.

O Manual de Avaliação de Impactos Ambientais - MAIA (1999) agrupa os impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios, enfocando diversas alterações, principalmente relacionadas às questões sociais. Como se trata do mais importante tratado brasileiro sobre o assunto, pode servir de referência para maiores detalhes. Porém, como o escopo deste trabalho não é o de relacionar profundamente todos os impactos ambientais decorrentes da construção de barragens, as informações contidas na tabela 4.1 mostram-se suficientes.

Tabela 4.1. Alterações resultantes da implantação de usinas hidrelétricas e reservatórios.

QUESTÕES SOCIAIS	- modificações na infra-estrutura regional e local.
	- variação da produção econômica na agricultura, indústria, comércio e serviços.
	- reassentamentos populacionais involuntários.
	- perda de áreas no meio rural e urbano.
	- implicações na saúde da população.
	- influência na pesca para subsistência, lazer e comercialização.
	- modificações gerais na qualidade e hábitos de vida da população.
	- alteração nas condições sociais e culturais das comunidades afetadas.
MEIO BIÓTICO	- alteração nos ecossistemas.
	- formação de novos ecossistemas.
MEIO FÍSICO	- desmatamento e erosão do solo.
	- modificação na qualidade da água do rio a montante e a jusante da barragem.
	- alterações no regime hidrológico do rio e afluentes.

Fonte: MAIA (1999) apud LIMA (2003)

MARENCO (2000), destaca que as novas barragens devem ser ambientalmente sustentáveis. Vários fatores devem ser levados em consideração na ocasião da implementação de uma nova barragem, tais como, o reassentamento da população, a destruição das matas, florestas e vida vegetal, a degradação da qualidade da água, a salinização das terras e a sismicidade induzida.

Um dos problemas ambientais mais sérios relativos a construção de barragens foi tratado num relatório publicado pela WORLD COMMISSION ON DAMS - WCD (2001). Segundo informações contidas nesse relatório, muitos dos maiores cursos d'água espalhados pelo mundo possuem barragens dispostas em cascata. Quanto maior o número de barragens situadas dentro de uma mesma bacia, maior a fragmentação do ecossistema do rio. Há uma estimativa de que 60% das maiores bacias fluviais do mundo estão altamente ou moderadamente fragmentadas.

Ainda segundo o relatório, muito embora raramente são analisados, impactos acumulativos ocorrem quando várias barragens são construídas num único rio. Elas afetam tanto as variáveis físicas, tais como a qualidade da água e vazão do rio, quanto à produtividade e composição de espécies. Os problemas podem ser potencializados quanto mais barragens, especialmente as grandes, forem acrescentadas ao rio, o que resulta num aumento acumulativo na perda de recursos naturais, a qualidade do habitat, a sustentabilidade do meio ambiente e a integridade dos ecossistemas.

A WCD compilou na sua base de dados documentos que listam um número de impactos acumulativos, os quais inclui-se quantidade de água, qualidade da água e impactos nas espécies. O regime de cheias é claramente afetado com o aumento do volume total de água armazenado, pois as barragens reduzem os fluxos das cheias a jusante. A qualidade da água só é recuperada lentamente a partir do seu extravasamento pela barragem. Os níveis de oxigênio necessitam de um quilômetro ou dois para se recuperar, enquanto que as mudanças de temperatura podem subsistir a uma distância de 100 km a jusante. Quando a distância entre duas barragens não permite a recuperação dos padrões naturais, a biologia de muitos quilômetros de rio pode ser afetada. Contudo, a construção de barragens dispostas em cascata pode aumentar os impactos a jusante nos ecossistemas e na biodiversidade.

Segundo BRAGA *et al* (2002), apesar de existir uma quantidade significativa de água na Terra, cerca de 1.385 milhões de km³, mais de 97% desse total não está diretamente disponível para o consumo humano. Por exemplo, a água salgada dos oceanos não pode ser utilizada in natura e as tecnologias atualmente disponíveis para a dessalinização são, ainda, uns processos bastante caros quando comparado com os processos normalmente utilizados para o tratamento de água para uso doméstico. A água existente em geleiras apresenta o inconveniente de estar localizada em regiões muito distantes dos centros consumidores, o que implica elevados custos de transporte. A extração de água muito profunda também está sujeita a limitações econômicas.

Contudo, ainda segundo BRAGA *et al* (2002), existem problemas com a disponibilidade local dos recursos hídricos:

- a. Há um grande desbalanceamento entre regiões: $\frac{1}{6}$ do total da água superficial do mundo encontra-se na região Amazônica;
- b. Variações significativas ocorrem na precipitação entre regiões;
- c. A não disponibilidade de água em períodos e lugares onde há a sua necessidade, por exemplo, as monções na Índia que duram três meses e é seguida por nove meses de estiagem;
- d. A água proveniente das inundações não pode ser economicamente utilizada porque está concentrada num curto período de recorrência;
- e. Grande parte da água disponível está a grandes profundidades e, além disso, sob áreas vastamente populosas; e
- f. Grandes cidades se desenvolveram em regiões onde a disponibilidade de água pronta para uso é insuficiente ou inadequada.

Para reforçar as idéias apresentadas por BRAGA *et al* (2002), a figura 4.1 ilustra a distribuição de água no mundo.

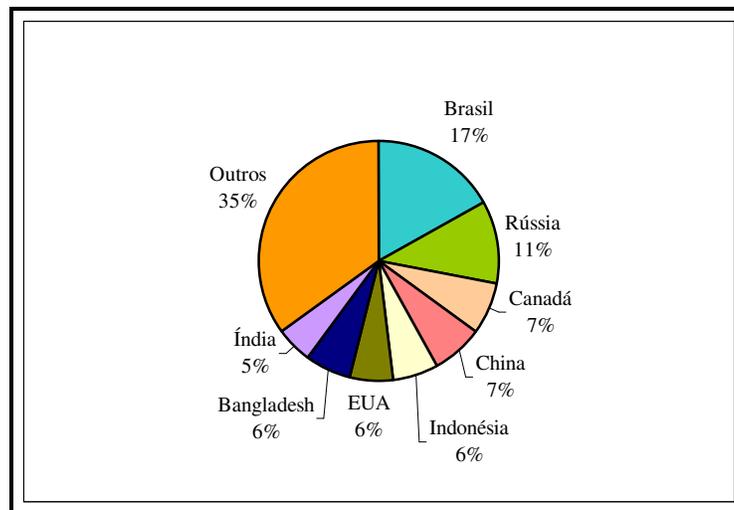


Figura 4.1. Distribuição de água no mundo.

Fonte: WCD, 2001.

Uma das primeiras questões ambientais que afetam diretamente a segurança de uma barragem é a presença de entulhos ou de vegetação no reservatório. Segundo o Manual de

Segurança e Inspeção de Barragens, a condição relevante deste aspecto reside no fato de que se estes elementos alcançarem as instalações de descarga, poderão ocasionar uma situação de perigo, pois podem interferir ou bloquear o escoamento, reduzindo a capacidade de descarga ou causar danos que impeçam a operação segura das instalações (MIN, 2002).

Os dispositivos de descarga devem ser capazes de suportar a passagem da Cheia Afluente de Projeto (CAP), levando em conta o efeito do amortecimento de cheias, sem que o nível do reservatório ultrapasse a borda livre. Se as instalações de descarga não puderem suportar com segurança a passagem da CAP, serão necessários reparos, modificações, novos trabalhos ou revisões das regras de operação do reservatório, ou alguma combinação destas medidas.

As margens do reservatório devem ser inspecionadas a fim de se determinar se a ruptura dos taludes pode constituir uma ameaça à segurança da estrutura que acarrete em perdas de vidas ou sócio-econômica, ao longo das margens ou a jusante. A barragem, suas estruturas associadas, fundações, ombreiras e as margens do reservatório devem ser capazes de resistir às forças associadas com o Sismo Máximo de Projeto (SMP).

Contudo, os taludes da barragem devem ser estáveis sob condições de carregamento sísmico, precipitações pluviométricas severas, rebaixamento rápido do nível d'água e quaisquer outras condições, caso a ruptura do talude possa induzir à formação de ondas que ameacem a segurança pública, a barragem ou suas estruturas associadas.

A margem do reservatório deve ser também vistoriada a fim de se identificar se há alguma barreira natural, que pode romper ou desbarrancar e, assim, ameaçar a operação, segurança ou manutenção do reservatório.

A qualidade da água no reservatório é de suma importância, pois a severidade do ataque químico sobre os materiais da barragem, principalmente no concreto e no aço, pode colocar em risco a estrutura como um todo. Portanto, deve ser monitorada e medidas de proteção devem ser tomadas se a sua alteração da qualidade puder causar estragos e deterioração da barragem e suas estruturas associadas.

Em casos mais agudos, a qualidade da água pode afetar, principalmente, a estrutura de barragens de concreto, pois este elemento pode ser atacado por agentes de lixiviação, que ocasionam a formação de caminhos de percolação. Os tipos de ataque em potencial incluem (MIN, 2002):

- ✓ Sulfatos.
- ✓ Sulfitos.
- ✓ Cloretos.
- ✓ Ácidos.
- ✓ Desenvolvimento de plantas e algas (sinais de eutrofização).
- ✓ Ataque combinado, gerando efeitos mais drásticos.
- ✓ Sais marinhos, geralmente em empreendimentos próximos ao mar.

A ocorrência de assoreamento próximo à barragem e suas instalações de descarga também deve ser observada e não é recomendada, pois pode afetar adversamente o controle de descarga de cheias, a operação ou um esvaziamento de emergência, ou, ainda, a estabilidade da barragem.

Meios adequados devem ser estabelecidos a fim de se prevenir a sedimentação excessiva do reservatório devido à incêndios florestais ou mudanças na utilização das terras de montante. Caso haja, por exemplo, um desmatamento em favor de áreas para pastagem ou mesmo o surgimento de um núcleo urbano, um incremento considerável no escoamento superficial poderá ser observado. Desta forma, poderá haver carregamento de materiais soltos, como folhas e o próprio solo para dentro do reservatório, bem como rupturas dos taludes do reservatório ou padrões de erosão (MIN, 2002).

Contudo, recomenda-se investigar o transporte de material sólido pelo curso d'água, assim como as fontes potenciais de sedimentos dentro da área de drenagem a montante do reservatório. Nos barramentos onde há entrada substancial de sedimentos no reservatório, as regras de operação de cheias devem levar em conta a correspondente redução do volume útil.

Uma das formas de minimizar o efeito da sedimentação, assoreamento e o arraste de fundo próximo a tomada d'água é adoção de comportas e saídas de descarga de fundo, adotando uma operação programada destas estruturas para limpeza do reservatório quando for necessário.

O esvaziamento do reservatório permite que o efeito da pressão hidrostática seja reduzido, facilitando a inspeção e eventuais reparos a montante da barragem. Porém, a necessidade desta operação em barragens de material solto deve ser cuidadosamente analisada caso possa se desenvolver uma situação de perigo que conduziria a uma ruptura da barragem (NOVAK *et al*, 1997 e BORRI GENOVEZ, 2004).

Quando uma situação potencial de perigo for identificada, a necessidade de se prover mecanismos para o esvaziamento do reservatório pode ser avaliada com base no aumento da segurança que resultará. Isto se faz determinando-se a quantidade de água a ser descarregada e a duração do processo, necessários para qualquer diminuição do nível do reservatório. Uma avaliação baseada no risco poderia auxiliar nesta quantificação.

A erosão interna (*piping*) pode ser originada pelo apodrecimento de raízes de árvores mortas, tocas escavadas por insetos ou animais, principalmente roedores e caprinos (NOVAK *et al*, 1997 e BORRI GENOVEZ, 2004). Uma barragem, portanto, deve ser monitorada no relativo a presença de animais nocivos, vegetação de porte e outros organismos, e ações de proteção da barragem devem ser tomadas, caso haja necessidade.

Em geral, vegetação, árvores e matas devem ser removidas na ocasião de implantação de uma barragem, pois posteriormente, suas raízes poderão afetar sua estrutura sorrateiramente e quando o problema finalmente for detectado, poderá ser tarde demais (SANTOS, 2005). Contudo, uma grande massa de vegetação também pode prejudicar a manutenção e inspeções eficientes no maciço. É imprescindível que se note, nas inspeções visuais, a presença e atividade de animais.

Os efeitos do meio ambiente sobre a segurança de barragens podem ser agravados se medidas de controle ambiental não forem implementadas, tais como, recuperação de áreas de

jazidas de empréstimo e desmatamento e limpeza da área de inundação, na ocasião da construção da estrutura (MIN, 2002).

As regras ambientais para a construção de barragens e açudes consideram que a maior parte dos impactos ambientais provenientes de obras de construção de barragens pode ser evitada por meio da adoção de métodos e técnicas adequados de engenharia. O monitoramento ambiental dessas áreas deve contemplar:

- ✓ A escolha do local para implantação do canteiro de obras.
- ✓ As condições de saúde e de segurança dos operários.
- ✓ A destinação adequada de efluentes líquidos do canteiro.
- ✓ As áreas de empréstimo e bota-fora.
- ✓ As estradas de serviço.
- ✓ Controles de ruído.
- ✓ A mobilização/ desmobilização do canteiro de obras.

O plano de controle e recuperação das áreas das jazidas de empréstimo deve conter os processos de desmate, decapeamento e escavação da área e, ainda, as diretrizes para a recuperação das jazidas em questão. As áreas de empréstimo, a serem exploradas para a construção da barragem, constituem-se de jazidas de materiais terrosos, de areia ou de rocha (pedreira). A pesquisa de jazidas de materiais para uso nas obras geralmente inicia no interior da bacia hidrográfica, para reduzir custos com transporte de material (SANTOS, 2004).

A recuperação total das áreas de empréstimo será obrigatória para todas as jazidas localizadas fora da área de inundação. Assim, em cada caso, deverá ser avaliado se haverá diferença significativa de custos entre exploração das jazidas no interior da bacia hidrográfica e fora dela, com seu correspondente custo de recuperação, devendo-se optar, sempre que possível, pelas áreas no interior da área a ser inundada.

As atividades de extração deverão ser acompanhadas de um plano de controle ambiental visando à manutenção da qualidade ambiental da área e à compensação e atenuação das adversidades geradas. É importante ainda considerar na concepção do plano de controle

ambiental para as jazidas de empréstimo que as cavas a serem formadas devem ficar, em média, com 1,5 metro de profundidade (MIN, 2002).

Há, ainda, um plano de desmatamento e limpeza da área de inundação que conforme a Lei Federal nº 3.824, de 23 de novembro de 1960, torna *obrigatória a destoca e conseqüente limpeza das bacias hidráulicas dos açudes, represas ou lagos artificiais*. Entretanto, a lei considera que o desmatamento pode não ocorrer, a critério dos técnicos, em áreas cuja vegetação for considerada necessária à proteção da ictiofauna e cujas reservas vegetais sejam indispensáveis à garantia da piscicultura (MIN, 2002).

O afogamento da vegetação e outros depósitos de matéria orgânica (fossas, lixo, etc) existentes na bacia hidráulica é uma das causas da eutrofização em reservatórios (SANTOS, 2005). Portanto, torna-se necessária a adoção de um plano de desmatamento e limpeza da área de inundação, visando à proteção das estruturas associadas à barragem dos efeitos da eutrofização. Este plano deve conter informações tais como (MIN, 2002):

- ✓ Diagnóstico florístico.
- ✓ Seleção e coleta de material botânico.
- ✓ Demarcação das áreas para desmatamento.
- ✓ Definição dos corredores de escape da fauna.
- ✓ Definição dos métodos de desmatamento (parcial, integral, seletivo e tradicional).
- ✓ Avaliação dos recursos florestais aproveitáveis.
- ✓ Proteção contra acidentes durante o desmatamento e limpeza da área de inundação.
- ✓ Remoção da infraestrutura.

Contudo, pode-se concluir que é de suma importância considerar os aspectos ambientais que colaboram para a conformidade geral da segurança de barragens, pois estes fatores podem realmente prejudicar a segurança da estrutura e, conseqüentemente, colocar em risco a população e infraestruturas localizadas ao longo das margens ou a jusante da barragem. Caso não forem tratados com a devida seriedade, na ocasião da implantação da estrutura e durante toda a sua vida, mesmo após o seu abandono, acidentes ou incidentes estão susceptíveis a ocorrência.

5) MATERIAL E MÉTODOS

5.1) Método de Avaliação da Segurança

A presente metodologia para avaliação da segurança de barragens desenvolvida neste estudo surgiu da necessidade de se avaliar uma barragem não só do ponto de vista técnico (potencial de risco e performance), como também do ponto de vista ambiental, respeitando-se a relevância individual de cada parâmetro ou critério a ser avaliado por meio da atribuição de pesos. E, ainda, uma possibilidade de identificação exata e em aspectos individuais de qualquer parâmetro de segurança que estaria contribuindo para uma possível insegurança da estrutura.

Pode-se afirmar que toda forma de avaliação seja ela de qualquer natureza, tem por característica inerente a subjetividade. Houve, então, uma motivação em tentar reduzir esta subjetividade ao máximo, por meio da adoção de funções de valor concernentes à cada critério avaliado, tornando a avaliação a mais técnica possível.

A partir de um estudo realizado, em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation*, a CETESB adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade de Água, que incorpora parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade da água. A metodologia aqui proposta parte do mesmo princípio daquela metodologia. Porém, aqui se propõe o ISB – Índice de Segurança da Barragem – que leva em consideração parâmetros de segurança de barragens, a partir do estabelecimento de critérios técnicos e ambientais avaliados concomitantemente.

O ISB, na realidade, pode ser considerado como um método multicriterial pertencente à família da Programação Matemática baseada na distância, em que se avalia uma única alternativa, ou seja, sem comparação necessária com outras barragens. O seu arcabouço é muito parecido com o método *Cooperative Game Theory* (CGT) ou, em português, Teoria dos Jogos Cooperativos. Porém, seu objetivo não é o de selecionar alternativas de melhor compromisso, ou seja, não visa o auxílio à tomada de decisão, mas sim, busca um valor que represente uma “distância” que será a referência para a avaliação da segurança de barragens.

Segundo ZUFFO (1998), os métodos baseados na distância procuram a solução de melhor compromisso, ou seja, aquela solução que possui a maior distância da solução *status quo*, que é considerada a pior situação de segurança que uma barragem pode se encontrar. A busca da solução ideal é definida pelo vetor $f(x^*) = \{f_1(x^*), f_2(x^*), \dots, f_p(x^*)\}$, em que as $f_i(x^*)$ são as soluções ótimas, que podem ser consideradas como a melhor avaliação para cada critério de segurança, ou seja, a nota máxima de cada critério. O vetor de soluções ótimas é utilizado para saber qual seria a “solução ótima” para o problema proposto, no caso, a barragem em condições mais segura.

Assim, foram sugeridos dezoito critérios (parâmetros) concernentes à avaliação de segurança de barragens, a serem analisados em cada empreendimento, que foram estabelecidos a partir da bibliografia estudada. São eles:

- | | | |
|--|---|----------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) importância da barragem; 2) dimensões; 3) tipo de barragem; 4) tipo de vertedor; 5) período de retorno da obra de descarga; 6) instalações à jusante; 7) instalações à montante; 8) idade da barragem; | } | <p>POTENCIAL DE RISCO</p> |
| <ol style="list-style-type: none"> 9) qualidade geral dos dados técnicos; 10) presença de vazamentos; 11) presença de deformações; 12) deterioração em aspectos gerais e taludes; 13) evidências de erosão à jusante; 14) conservação do vertedor para prevenção de enchentes; | } | <p>PERFORMANCE</p> |
| <ol style="list-style-type: none"> 15) eutrofização no reservatório; 16) alteração do uso e ocupação do solo; 17) eliminação da vegetação natural ou implantada; 18) histórico de acidentes relacionados com a barragem. | } | <p>FATORES AMBIENTAIS</p> |

Os critérios para Avaliação do Potencial de Risco estão englobados entre os critérios que variam entre os números 1 e 8; para a Análise da Performance, entre os critérios 9 e 14 e para a Análise Ambiental, entre os critérios 15 e 18.

A criação do ISB – Índice de Segurança da Barragem – baseia-se numa pesquisa junto a especialistas em barragens, que indicaram os pesos dos critérios a serem avaliados, avaliações estas que determinam a relevância de cada critério na avaliação geral da segurança da barragem. Cada critério tem uma função de valor e cruzando-se o resultado obtido para cada parâmetro com a curva da função de valor, determina-se a nota para aquele critério.

Segundo ZUFFO (2004), uma função de valor é toda aquela que representa um determinado critério em uma escala de valores arbitrária. A escala adotada pode ser inteira, real, logarítmica, etc. O intervalo adotado varia de acordo com o critério a ser representado, por exemplo, caso se desejasse representar uma função de valor do pH a escala definida pela abscissa variaria entre 0 a 14, representando todos os valores possíveis deste parâmetro. Ainda neste exemplo, para uma determinada avaliação, caso fosse necessário garantir um pH neutro, então, para valores próximos a 7 os valores correspondentes para a ordenada da função seriam máximos nessa faixa e zero nos extremos, tanto para valores da abscissa próximos de zero e próximos de 14. A figura 5.1.1 representa um exemplo desta função de valor.

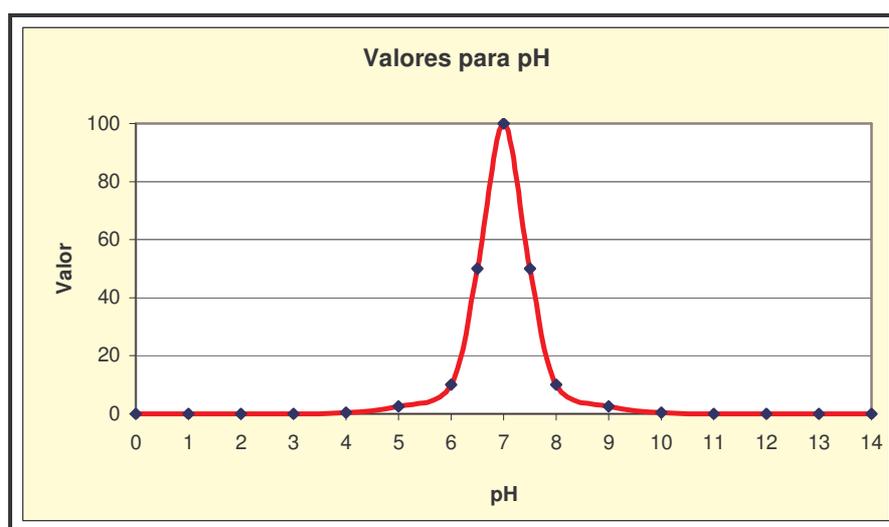


Figura 5.1.1. Função de valor para representar o pH de uma substância em que se deseja uma solução neutra.

À continuação, são apresentadas as dezoito funções de valor determinadas para cada parâmetro ou critério a ser avaliado. Na figura 5.1.2 pode-se observar as funções de valor para os critérios 1 (Importância da Barragem) e 2 (Dimensões da Barragem) e seus respectivos conceitos.

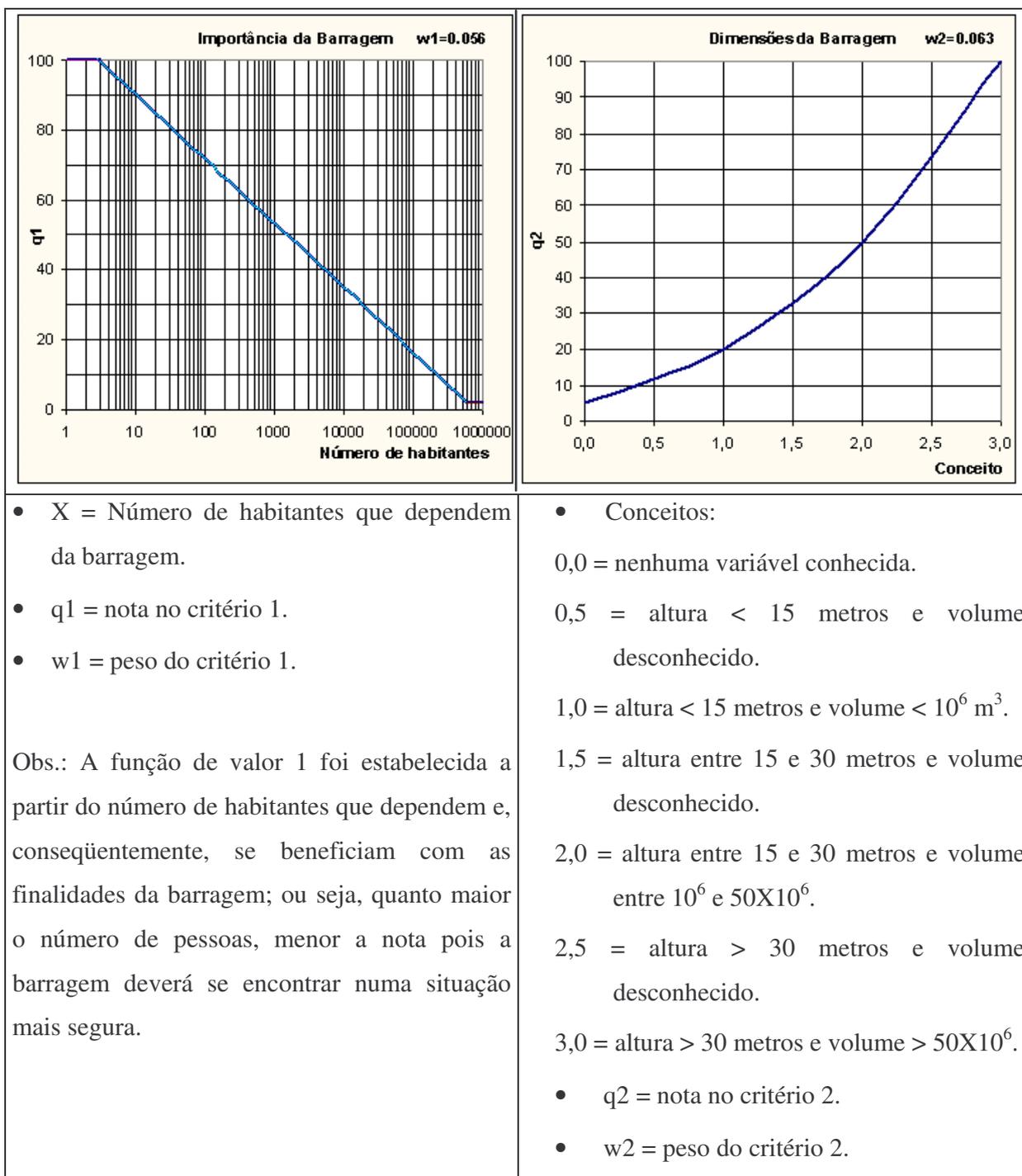


Figura 5.1.2. Funções de Valor para os Critérios 1 e 2 e respectivos conceitos.

A figura 5.1.3 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 3 (Tipo de Barragem) e 4 (Tipo de Vertedor) e seus respectivos conceitos.

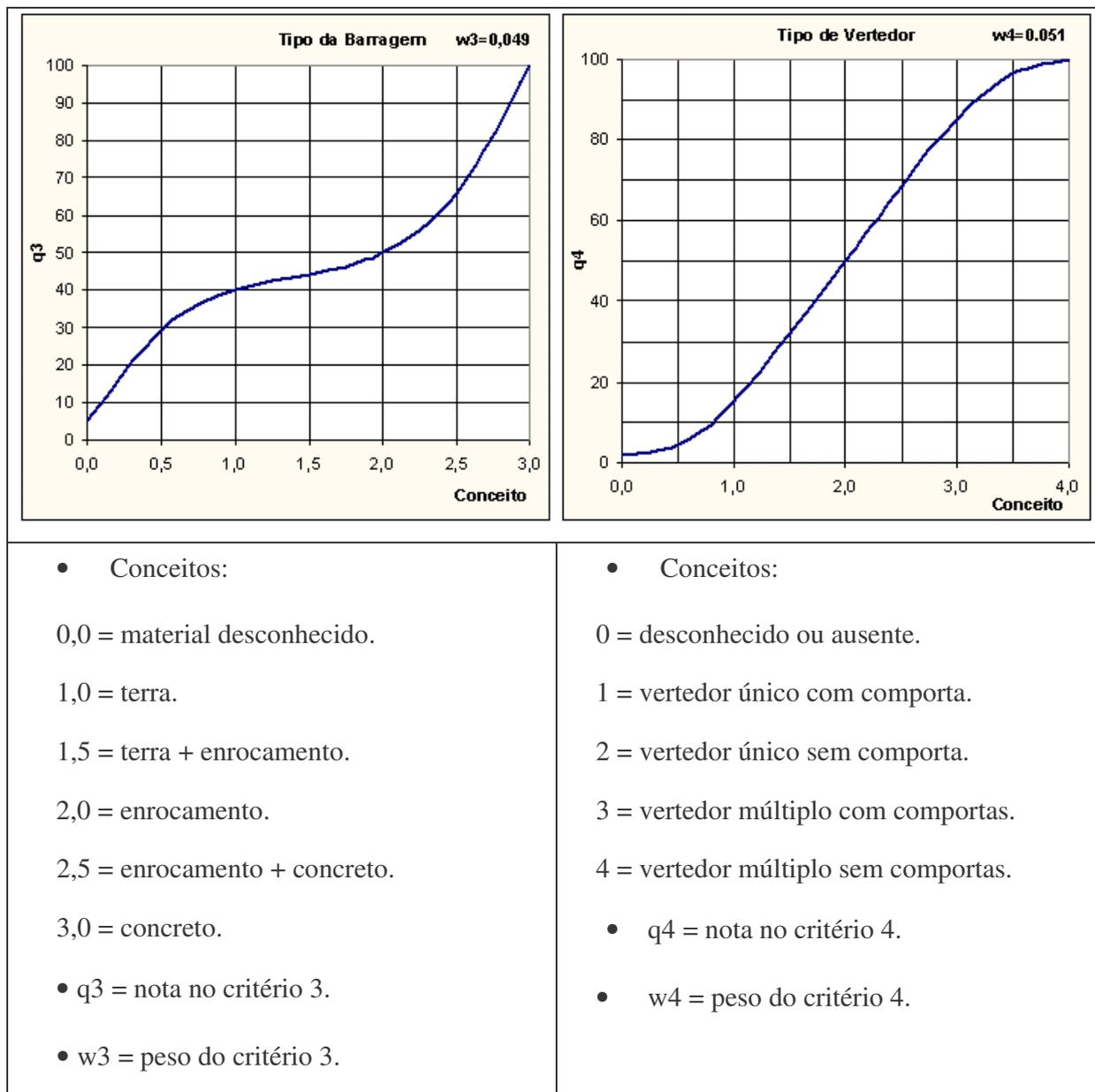


Figura 5.1.3. Funções de Valor para os Critérios 3 (Tipo de Barragem) e 4 (Tipo de Vertedor) e seus respectivos conceitos.

A figura 5.1.4 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 5 (Período de Retorno) e 6 (Características a Jusante) e seus respectivos conceitos.

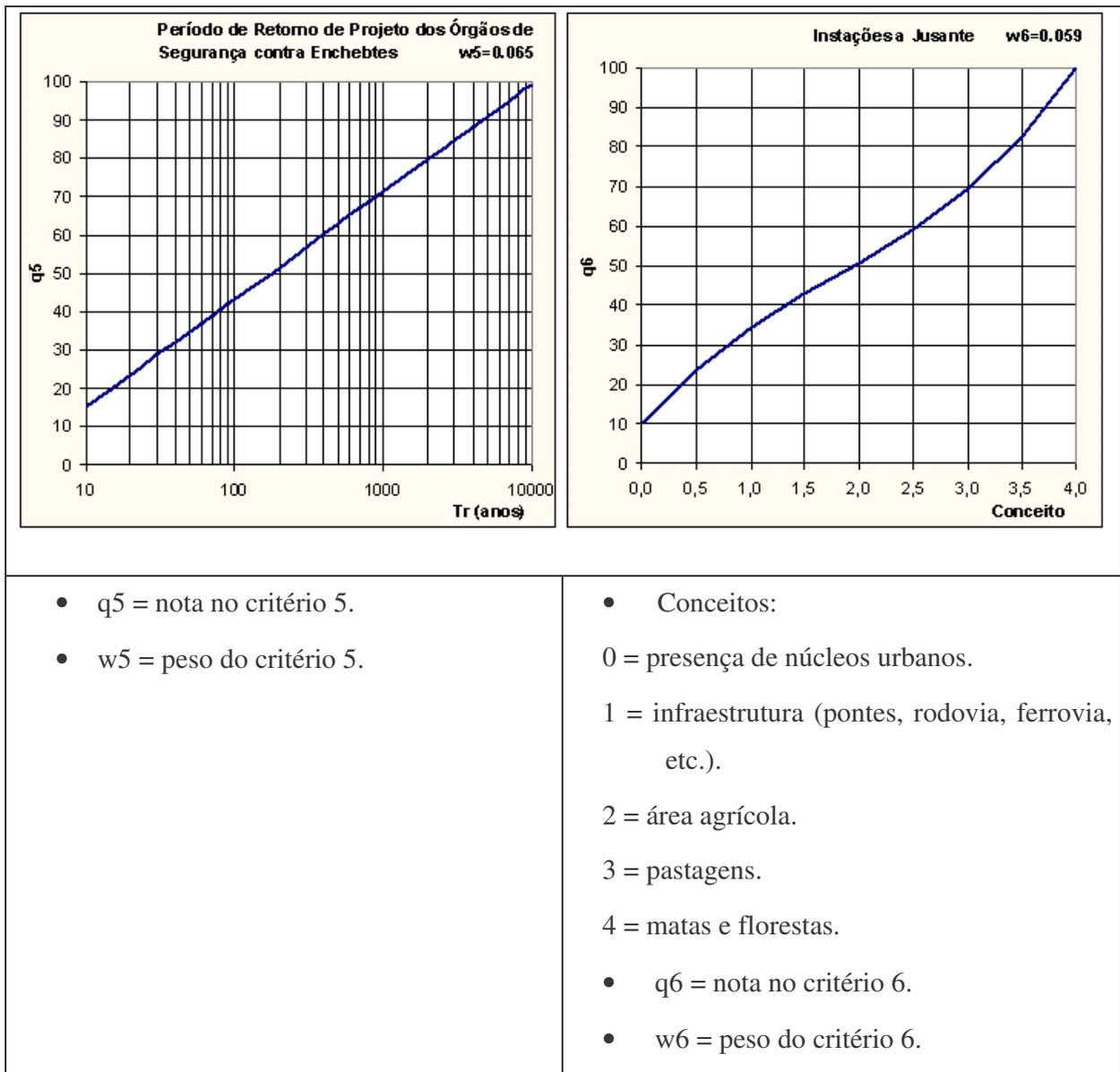


Figura 5.1.4. Funções de Valor para os Critérios 5 e 6 e seus respectivos conceitos.

A figura 5.1.5 ilustra a função de valor referente aos critérios 7 (Condições a Montante) e 8 (Idade da Barragem) e seus respectivos conceitos.

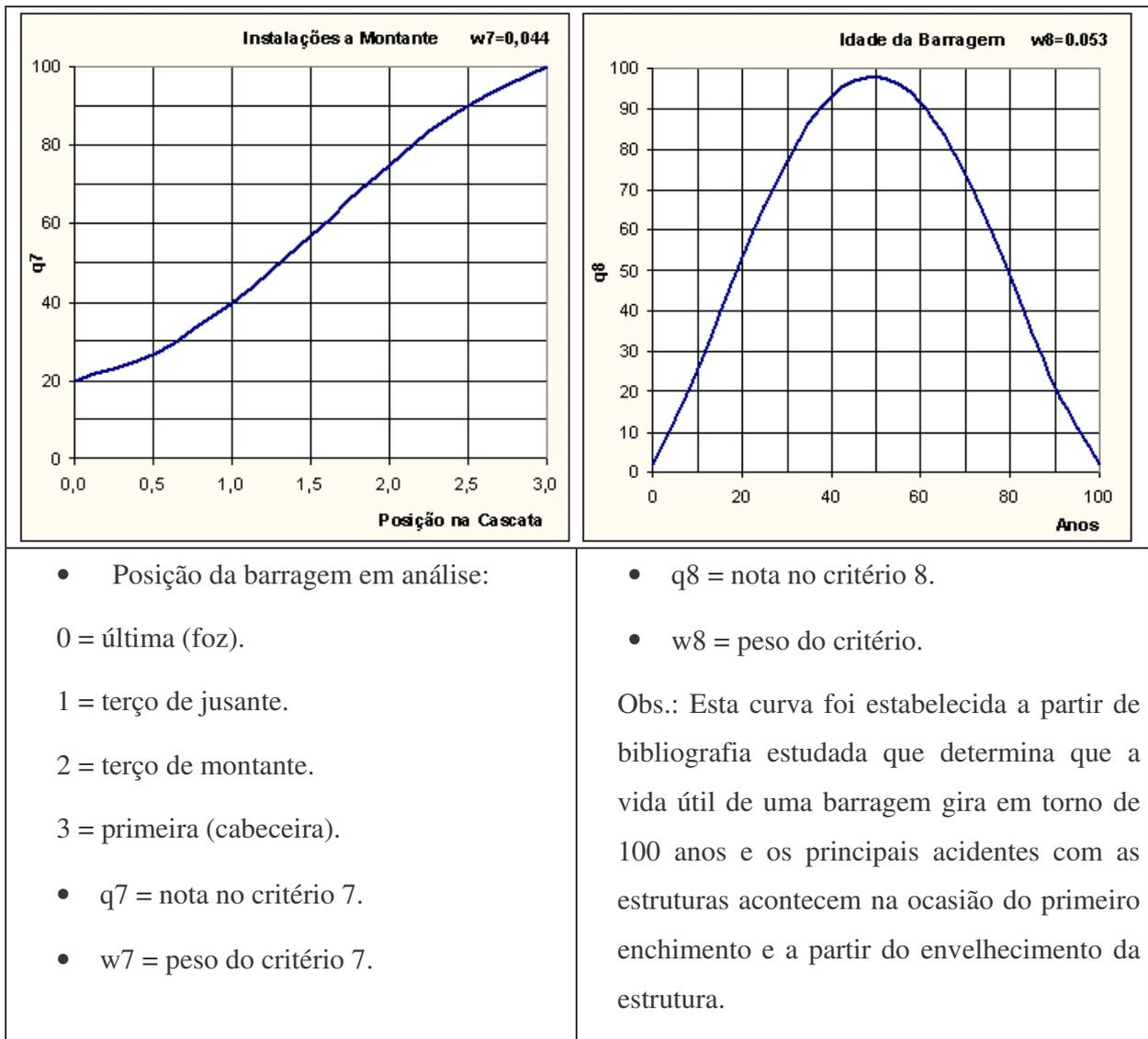


Figura 5.1.5. Funções de Valor para os Critérios 7 e 8 e seus respectivos conceitos.

A figura 5.1.6 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 9 (Qualidade geral dos dados técnicos) e 10 (Presença de vazamentos) e seus respectivos conceitos.

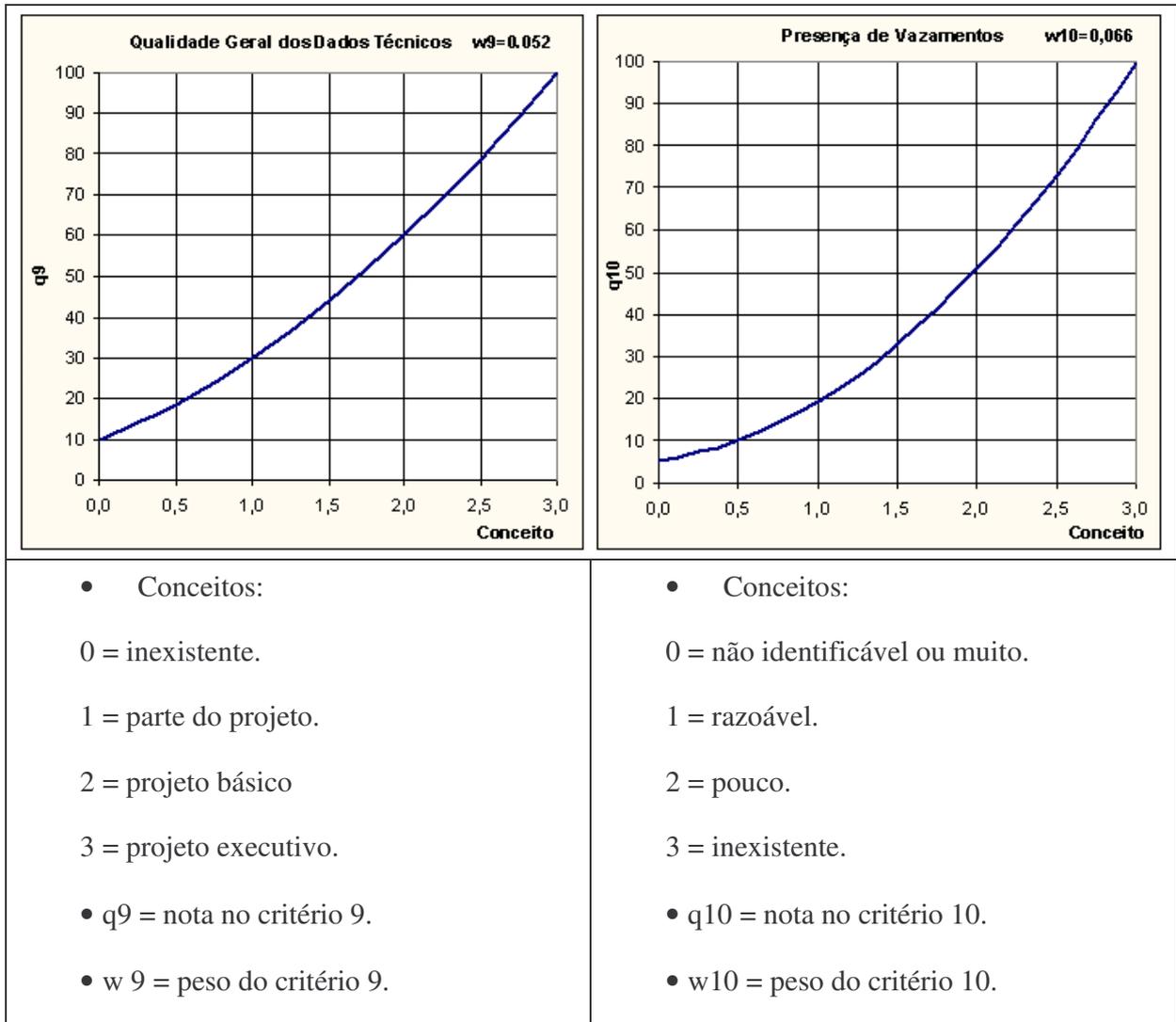


Figura 5.1.6. Funções de Valor para os Critérios 9 e 10 e seus respectivos conceitos.

A figura 5.1.7 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 11 (Presença de Deformações) e 12 (Deterioração em Aspectos Gerais e Taludes) e seus respectivos conceitos.

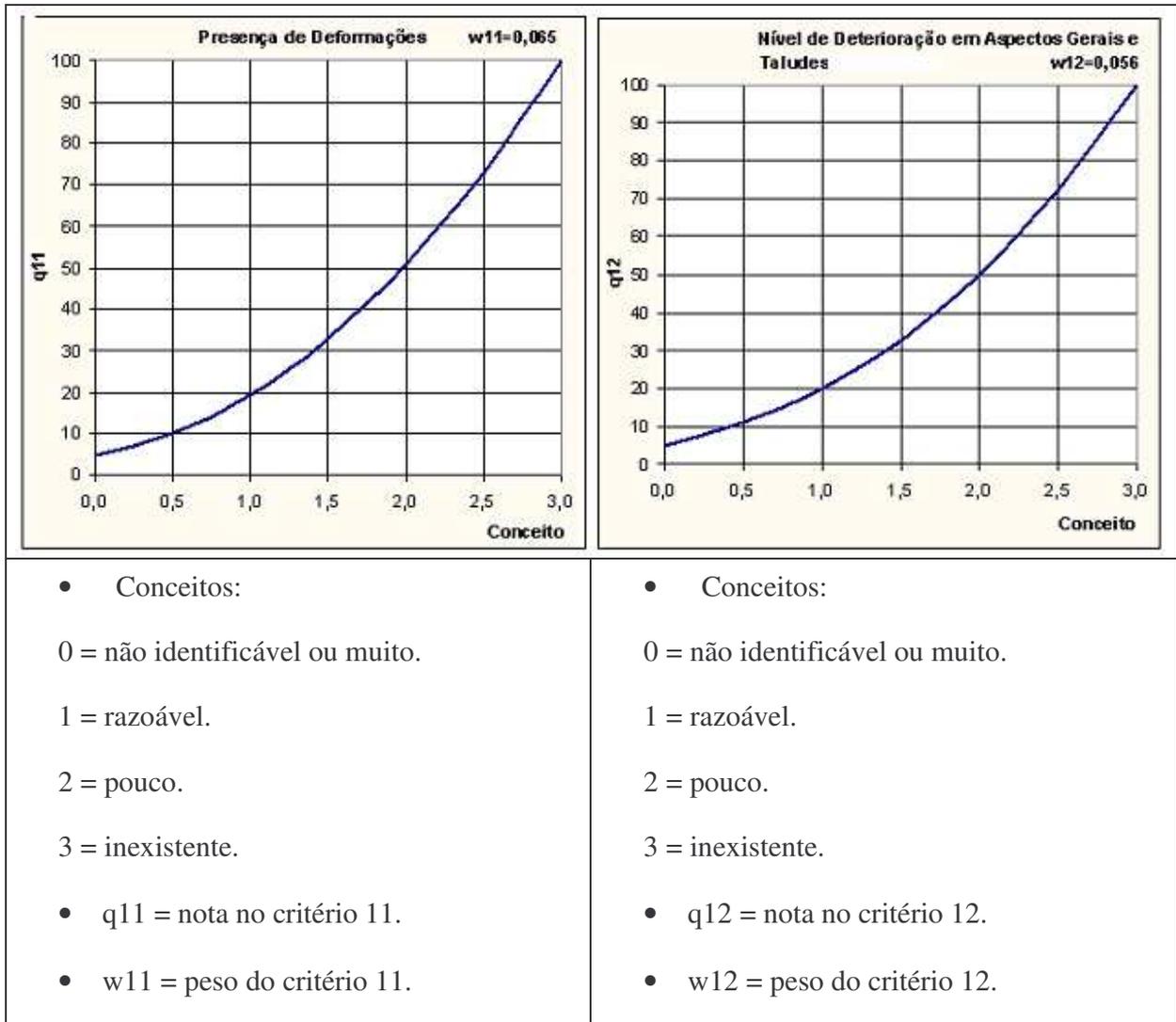


Figura 5.1.7. Funções de Valor para os Critérios 11 e 12 e seus respectivos conceitos.

A figura 5.1.8 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 13 (Evidências de erosão à jusante) e 14 (Conservação do vertedor) e seus respectivos conceitos.

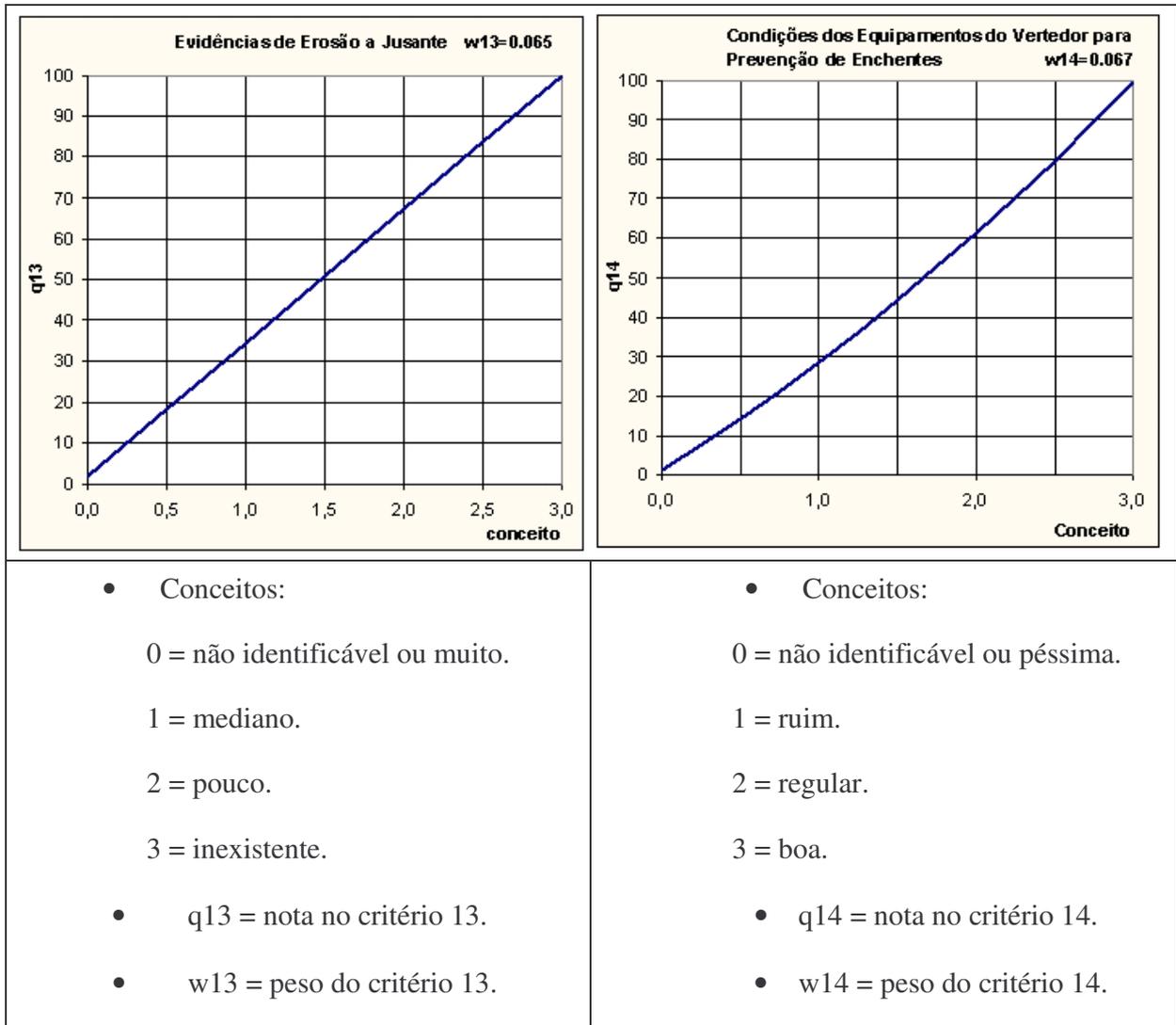


Figura 5.1.8. Funções de Valor para os Critérios 13 e 14 e seus respectivos conceitos

A figura 5.1.9 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 15 (Eutrofização no reservatório) e 16 (Alteração do Uso e Ocupação do Solo) e seus respectivos conceitos.

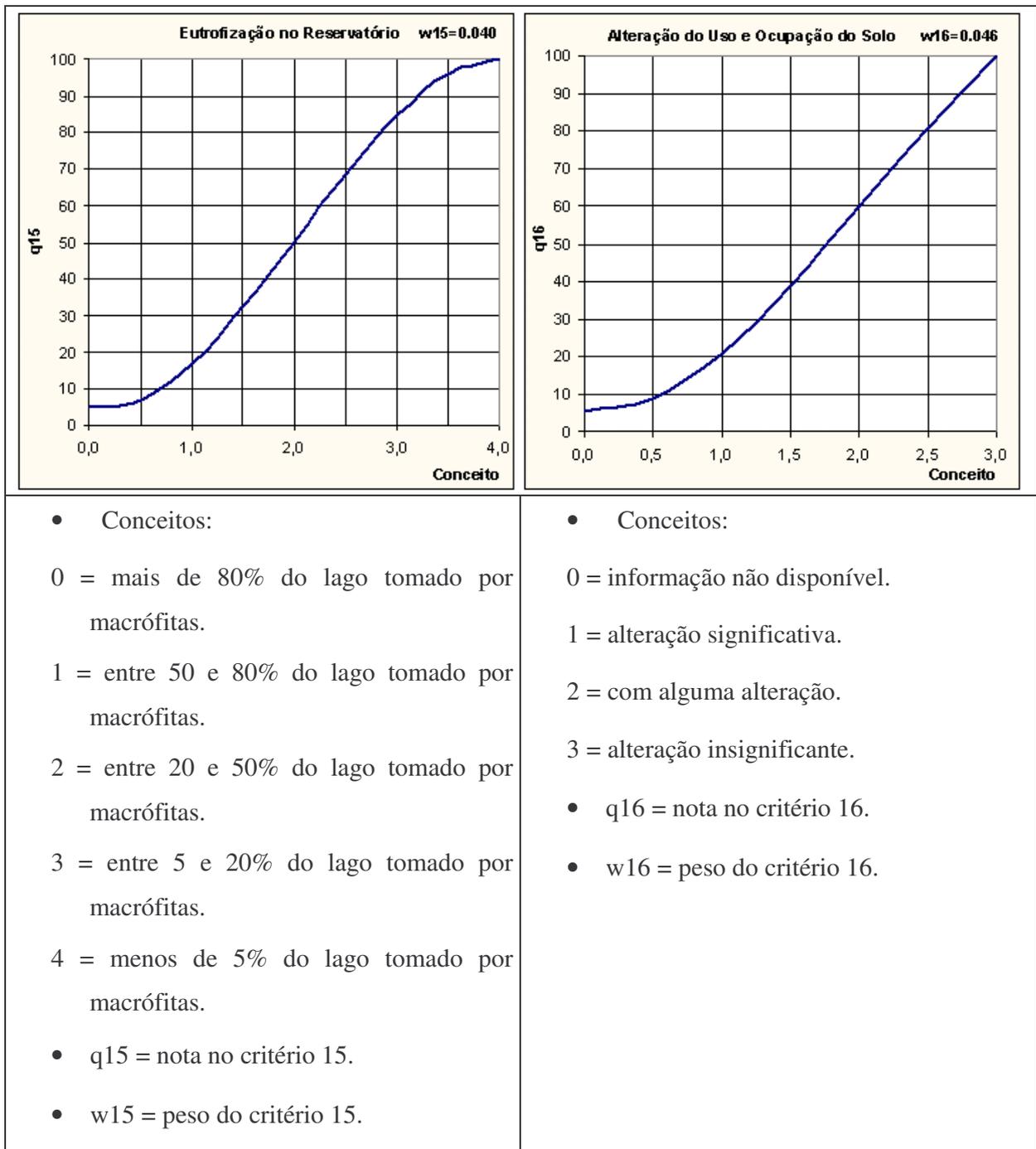


Figura 5.1.9. Funções de Valor para os Critérios 15 e 16 e seus respectivos conceitos

A figura 5.1.10 ilustra as funções de valor referentes aos critérios 17 (Eliminação da vegetação natural ou implantada) e 18 (Acidentes anteriores relacionados com a barragem) e seus respectivos conceitos.

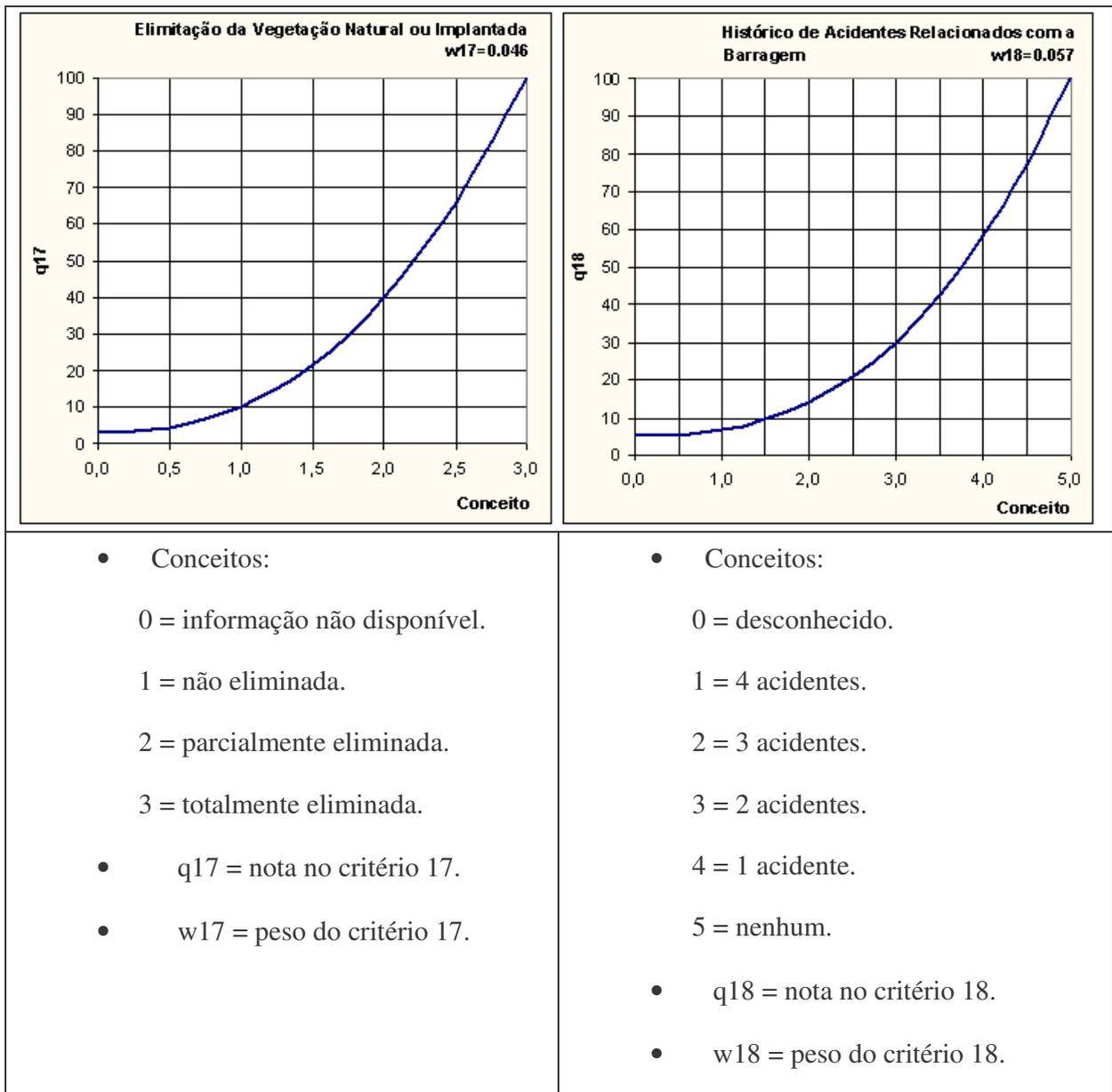


Figura 5.1.10. Funções de Valor para os Critérios 17 e 18 e seus respectivos conceitos

Na tabela 5.1.1, as equações ajustadas das curvas das funções de valor e r^2 , para todos os critérios, podem ser encontradas.

Tabela 5.1.1. Equações ajustadas e r^2 para todos os critérios.

ID	Critério	Equação Ajustada	r^2
1	Importância da Barragem	$y = -8,0032Ln(x) + 108,62$	1,000
2	Dimensões	$y = 0,8333x^3 + 5x^2 + 9,1667x + 5$	1,000
3	Tipo de Barragem	$y = 10,833x^3 - 45x^2 + 69,167x + 5$	1,000
4	Tipo de Vertedor	$y = -3,5x^3 + 21,286x^2 - 4,6429x + 2$	1,000
5	Período de Retorno de Projeto dos Órgãos de Segurança contra Enchentes	$y = 12,217Ln(x) - 13,061$	1,000
6	Instalações a Jusante	$y = 1,6667x^3 - 8,9286x^2 + 31,548x + 10,143$	0,997
7	Instalações a Montante	$y = -4,1667x^3 + 20x^2 + 4,1667x + 20$	1,000
8	Idade da Barragem	$y = 9E^{-6}x^4 - 0,0017x^3 + 0,0662x^2 + 1,8516x + 1,9242$	1,000
9	Qualidade Geral dos Dados Técnicos	$y = 5x^2 + 15x + 10$	1,000
10	Presença de Vazamento	$y = 8,75x^2 + 5,25x + 5,25$	1,000
11	Presença de Deformações	$y = 8,6905x^2 + 5,4821x + 5,095$	1,000
12	Nível de Deterioração em Aspectos Gerais e Taludes	$y = 8,7499x^2 + 5x + 5,625$	0,997
13	Evidências de Erosão a Jusante	$y = 37,2x + 1,9$	1,000
14	Condições dos Equipamentos do Vertedor para Prevenção de Enchentes	$y = 2,75x^2 + 24,45x + 1,45$	1,000
15	Eutrofização no Reservatório	$y = -3,4167x^3 + 21,071x^2 - 5,869x + 5,0429$	1,000
16	Alteração do Uso e Ocupação do Solo	$y = -3,5526x^3 - 22,171x^2 - 2,9605x + 5,3289$	1,000
17	Eliminação da Vegetação Natural ou Implantada	$y = 1,2777x^3 + 7,5238x^2 - 1,7539x + 3,1429$	1,000
18	Histórico de Acidentes Relacionados com a Barragem	$y = 0,4815x^3 + 1,496x^2 - 0,4537x + 5,1984$	1,000

A função de valor foi determinada a partir de opiniões técnicas para os dezoito critérios estabelecidos. O ISB é calculado pelo produtório ponderado da condição de segurança correspondente para cada um dos dezoito critérios. O produtório ponderado foi utilizado por privilegiar todos os critérios a serem avaliados, ou seja, todos eles representam sua significância para a conformidade geral da condição de segurança da barragem. Se, por exemplo, se fizer uso do somatório ponderado e um critério de maior peso recebesse uma nota baixa, com certeza este resultado não se refletiria na nota final indicada pelo ISB. Este fato não pode ser considerado como aceitável, pois se o cálculo do ISB é constituído por dezoito critérios, todos eles são relevantes para a indicar a condição de segurança da barragem, mesmo que com pesos diferentes.

Deste modo o ISB será expresso por:

$$ISB = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (5.1)$$

Em que:

- ISB: Índice de Segurança da Barragem;
- q_i : nota no i -ésimo critério, um número entre 1 e 100, obtido na respectiva curva de função de valor, em função do conceito obtido no critério;
- w_i : peso correspondente ao i -ésimo critério, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de segurança, sendo que:

Os pesos (w_i) padronizados foram estabelecidos a partir de opiniões técnicas de diversos profissionais da área (hidrólogos, geotécnicos, biólogos, hidráulicos, entre outros), obtidas a partir da resposta do questionário que se encontra no anexo D.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5.2)$$

Em que:

- n : número de critérios que entram no cálculo do ISB.

Para se chegar à média de nota de cada parâmetro e, assim, no próprio peso, calculou-se a média M de todas as notas obtidas a partir da opinião dos técnicos para cada critério. A partir destas mesmas notas se calculou o desvio padrão DP . O valor dos pesos, médias das notas obtidas, entre outras informações se encontra na tabela 5.1.1. Do valor da média obtida anteriormente adicionou-se o valor do desvio padrão ($M+DP$) e também o subtraiu ($M-DP$). Assim, chegou-se a uma faixa de valores mínimos e máximos entre os quais cada nota referente a cada critério deveria estar. Não foram consideradas opiniões dos técnicos que estavam fora desta faixa e assim se calculou a média M expressada na tabela 5.1.1.

A adoção desse cálculo foi necessária a fim de minimizar as eventuais diferenças de visões entre os profissionais multidisciplinares consultados e para que o peso referente a cada critério de avaliação realmente obtivesse um valor adequado, ou seja, para se estabelecer o peso do critério de uma forma isenta de tendências.

Tabela 5.1.2. Pesos e Médias dos 18 critérios para Cálculo do ISB.

#	PARÂMETRO / CRITÉRIO	PESOS (W)	MÉDIA (M)	DESVIO PADRÃO (DP)	M-DP	M+DP
1	Importância da Barragem	0,056	8,2	2,807	4,5	10,1
2	Dimensões	0,063	9,2	1,288	7,5	10,0
3	Tipo de Barragem	0,049	7,1	1,913	4,8	8,7
4	Tipo de Vertedor	0,051	7,4	2,151	4,8	9,1
5	Período de Retorno de Projeto dos Órgãos de Segurança contra Enchentes	0,065	9,5	1,528	7,6	10,7
6	Instalações a Jusante	0,059	8,6	2,780	4,7	10,3
7	Instalações a Montante	0,044	6,5	2,103	4,6	8,8
8	Idade da Barragem	0,053	7,7	1,155	6,5	8,8
9	Qualidade Geral dos Dados Técnicos	0,052	7,6	1,537	6,5	9,5
10	Presença de Vazamento	0,066	9,6	1,196	8,0	10,4
11	Presença de Deformações	0,065	9,5	1,539	7,3	10,4
12	Nível de Deterioração em Aspectos Gerais e Taludes	0,056	8,3	1,505	6,9	9,9
13	Evidências de Erosão a Jusante	0,065	9,5	1,371	7,3	10,0
14	Condições dos Equipamentos do Vertedor para Prevenção de Enchentes	0,067	9,8	1,231	8,1	10,6
15	Eutrofização no Reservatório	0,040	5,9	1,658	3,6	6,9
16	Alteração do Uso e Ocupação do Solo	0,046	6,8	2,038	4,8	8,9
17	Eliminação da Vegetação Natural ou Implantada	0,046	6,7	2,151	4,4	8,7
18	Histórico de Acidentes Relacionados com a Barragem	0,057	8,3	1,676	6,2	9,6
	Somatória	1,00	146,1			

No caso de não se dispor do valor de algum dos 18 critérios, o cálculo do ISB é inviabilizado. O resultado do ISB determinará a condição de segurança de cada barragem em estudo. A classificação de segurança adotada se baseia nas recomendações do EUA – Design of Small Dams (1987).

O EUA – Design of Small Dams (1987) estabelece as características mínimas das barragens, de acordo com a seguinte classificação:

- Condição Boa - não há deficiências ou potenciais deficiências na segurança da barragem. Performance segura pode ser esperada sobre todas as condições de carga excepcionais, incluindo-se eventos tais como MCE e PMF;
- Condição Satisfatória – deficiências não existentes na segurança da barragem para condições normais de carga. Eventos hidrológicos ou sísmicos, não frequentes, podem resultar numa deficiência na segurança da barragem;
- Condição Regular – uma deficiência potencial na segurança da barragem pode ser identificada no que se refere às condições de cargas excepcionais, que podem ocorrer, de fato, durante a vida útil da estrutura. Também, quando existem incertezas sobre alguns dos parâmetros; incertezas que identificariam uma deficiência potencial na segurança da barragem. Investigações posteriores e estudos são necessários;
- Condição Deficiente – uma deficiência potencial na segurança da barragem é claramente reconhecida em condições de cargas normais. Ações imediatas são recomendadas para que se possa resolver a deficiência. Restrições na operação do reservatório podem ser necessárias até a resolução do(s) problema(s); e
- Condição Insatisfatória – existe uma deficiência nas condições da segurança da barragem em condições normais de carga. Ações corretivas imediatas são requeridas para a solução do(s) problema(s).

A partir da equação 5.1, calculou-se os valores do ISB para cada barragem. O valor do ISB é relacionado com a classificação de segurança recomendado pelo EUA – *Design of Small Dams* (1987) e colocado na tabela 5.1.2. Os intervalos de valores estabelecidos para cada condição, na tabela 5.1.2, adotam valores mínimos aceitáveis a cada condição classificatória. Assim, se chegou

aos valores correspondentes a cada uma dessas categorias, estabelecendo-se, desta forma, os limites de cada faixa, sempre a favor da segurança.

Tabela 5.1.3: Interpretação do Índice de Segurança de Barragem (ISB) obtido para cada empreendimento.

RESULTADO ISB	CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA
91 – 100	Condição Boa
81 - 90	Condição Satisfatória
61 – 80	Condição Regular
31 – 60	Condição Deficiente
0 - 30	Condição Insatisfatória

Para as condições Boa e Satisfatória, recomenda-se a inspeção de re-avaliação após um ano. Para a condição Regular, após investigação do(s) parâmetro problemático(s), sugere-se a re-avaliação após 6 meses e para as condições Deficientes e Insatisfatória, após 3 meses de sanados os problemas apontados.

5.2) Caracterização das Barragens de Campinas

A amostragem das barragens do município de Campinas foi obtida junto ao DAEE de Campinas, que forneceu uma listagem das aprovadas por este órgão, apresentadas no anexo A. Atualmente, a listagem conta com 147 barragens aprovadas.

Informações sobre o setor produtivo do usuário da barragem, localização (endereço), nome do curso d'água barrado e a sua finalidade construtiva foram fornecidas. Contudo, conforme pode ser observado na figura 5.2.1, pode-se concluir que os grandes proprietários de barragens aprovadas pelo DAEE são os comerciantes (22%), os aqüicultores (20%), os pecuaristas (18%) e os ruralistas (11%), nesta ordem.

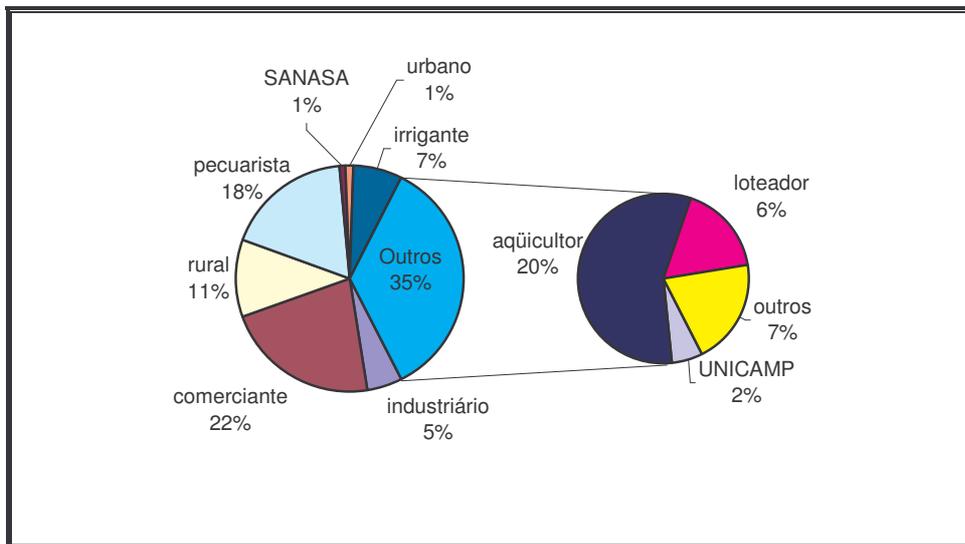


Figura 5.2.1. Setor do Usuário das Barragens da Região Metropolitana de Campinas.

Conforme figura 5.2.2, contrariando-se as teorias mais recentes sobre o assunto que recomendam que uma barragem deve ter mais de uma finalidade a ser cumprida, 76% das barragens de Campinas que compõem a amostragem foram construídas com propósitos únicos e 24% com propósitos múltiplos.

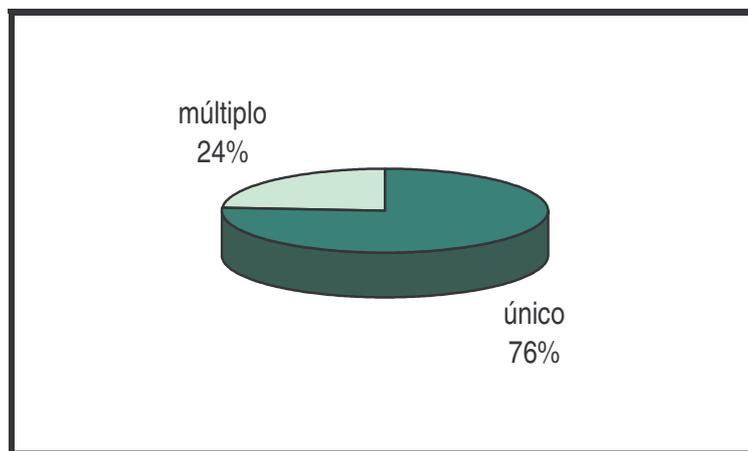


Figura 5.2.2. Classificação quanto ao propósito da construção.

As finalidades das barragens construídas são, conforme observado na figura 5.2.3. Lazer (29%), elevação do nível d'água (24%), regularização de vazão (19%) e hidroagricultura (18%), nesta ordem.

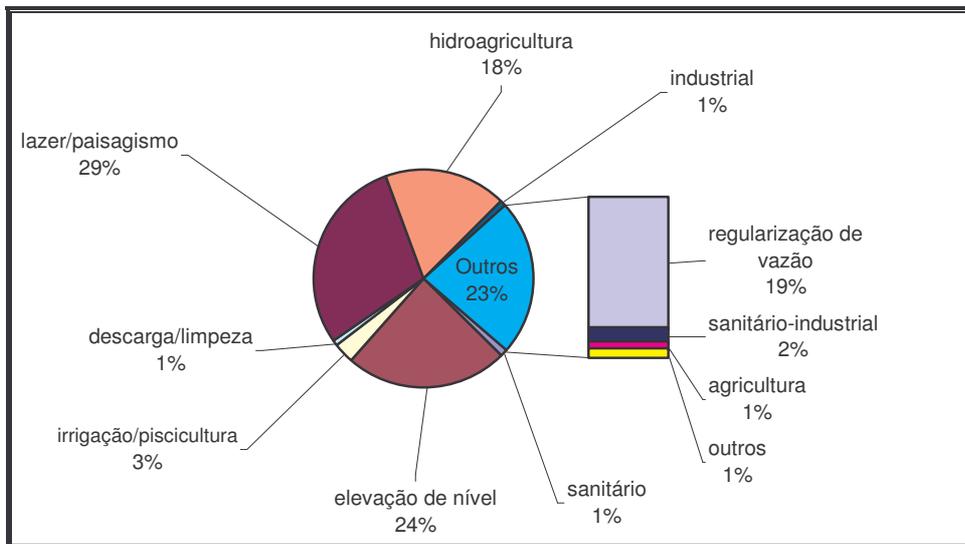


Figura 5.2.3. Construção quanto à Finalidade da Barragem

A partir da figura 5.2.4, pode-se dizer que os cursos d'água que abrigam o maior número de barragens são: o Ribeirão das Cabras (25%), Córrego Sete Quedas (13%), Ribeirão das Anhumas (9%) e Ribeirão das Pedras e Córrego da Cachoeirinha (7%, cada).

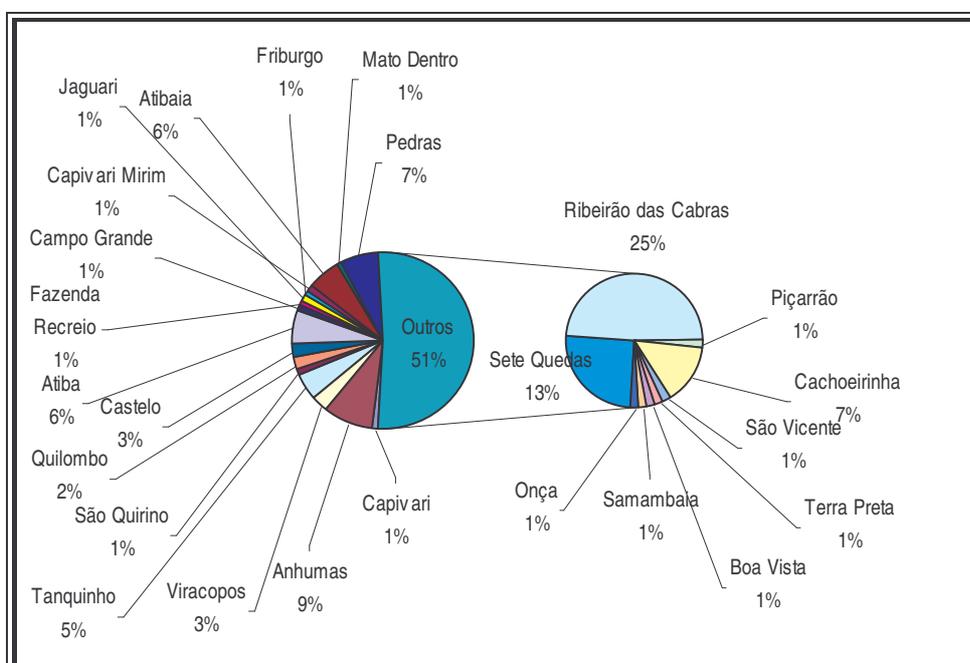


Figura 5.2.4. Localização das Barragens de Campinas quanto ao curso d'água.

5.3) Caracterização das Barragens em Estudo

A partir das estatísticas apresentadas no item 5.2, foi constatado que o Ribeirão das Cabras detém $\frac{1}{4}$ de todas as barragens aprovadas pelo DAEE de Campinas (37 barragens). De acordo com mapa fornecido pelo DAEE de Campinas, esse curso d'água conta com um total de 61 barragens. Portanto, 24 delas (39%) estão em situação irregular, ou seja, sem aprovação prévia dada por este órgão e certamente não contam com projeto e documentação adequada. A listagem das 37 barragens aprovadas se encontra no anexo B.

Desta forma, optou-se por avaliar a segurança das barragens aprovadas pelo DAEE localizadas nesta sub-bacia hidrográfica. Além do mais, outras razões podem ser apresentadas: a bacia do Ribeirão das Cabras está contida numa Área de Proteção Ambiental (APA) e atravessa dois distritos urbanos (Souzas e Joaquim Egídio). Estes dois distritos já sofreram várias inundações, nos últimos 100 anos, sendo que, 90% das enchentes estão relacionadas com o rompimento de barragens ou açudes (FACCINA NETO, SANTOS E ZUFFO (2004)). Na figura 5.3.1, pode-se observar a bacia do Ribeirão das Cabras.

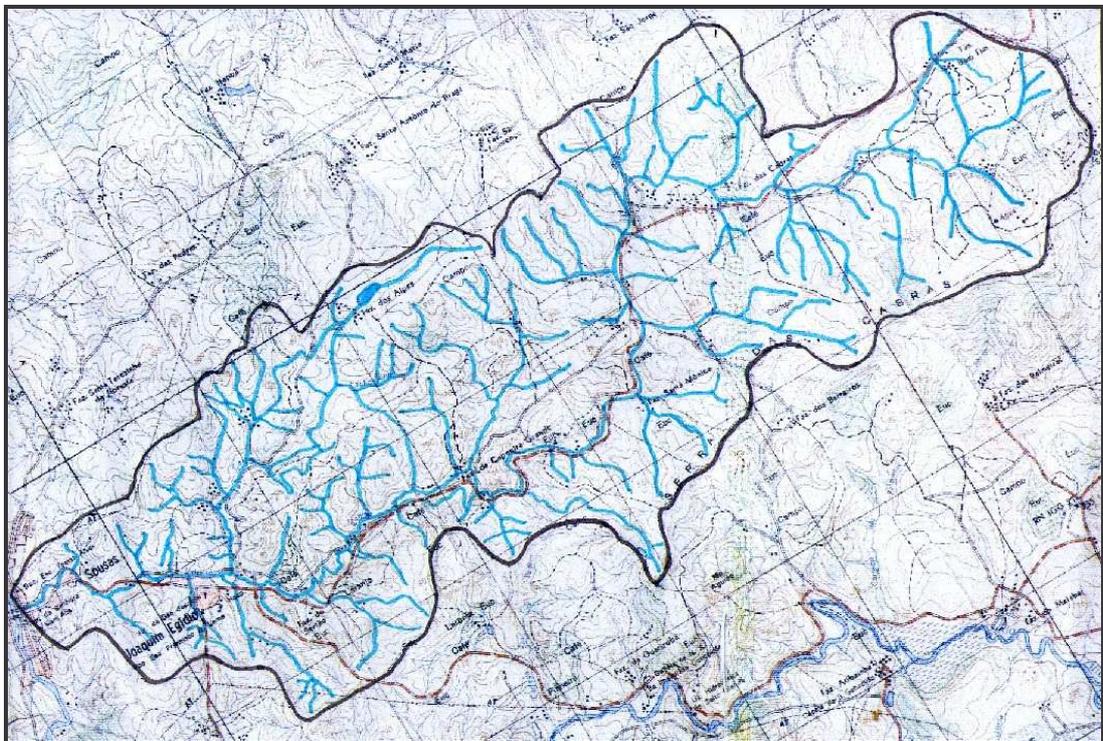


Figura 5.3.1. Bacia do Ribeirão das Cabras.

Devido à localização de diversas barragens no mesmo curso d'água, há a preocupação com o efeito cascata, como observado por MARCHE *et al* (1997), que poderá ser desencadeado a partir do rompimento de barragens situadas a montante. Este fato poderá provocar estragos significativos, tanto técnicos, como ambientais e sócio-econômicos com possíveis perdas de vidas humanas e econômicas significativas. Essa situação pesou também na definição da área de estudo. Há, ainda, barragens cadastradas em outros órgãos as quais foram ou poderão ter sido aprovadas, como por exemplo, junto ao INCRA (barragens rurais) ou Prefeitura Municipal de Campinas (barragens urbanas). Porém, como o presente estudo visa legitimar uma nova metodologia para avaliação da segurança de barragens, o universo fornecido pelo DAEE mostra-se suficiente.

A figura 5.3.2 ilustra o setor produtivo do usuário das barragens do Ribeirão das Cabras.

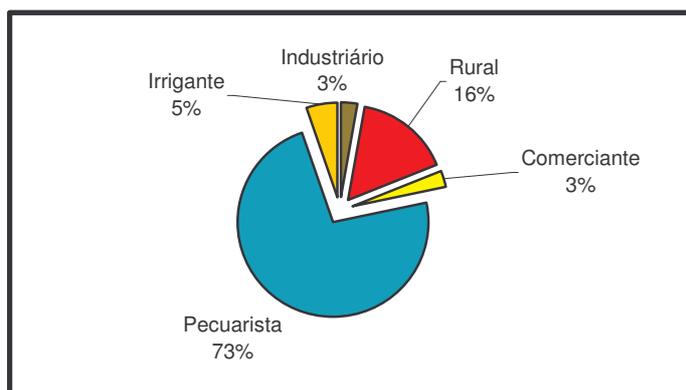


Figura 5.3.2. Usuário das Barragens em Ribeirão das Cabras.

Conforme pode-se observar na figura 5.3.2, o grande usuário de barragens da sub-bacia em estudo são os pecuaristas, seguido pelos ruralistas e comerciantes e industriários. A finalidade da construção destas barragens, conforme figura 5.3.3, é em sua grande maioria, para a elevação do nível da água, seguida por lazer e paisagismo, hidroagricultura e industrial.

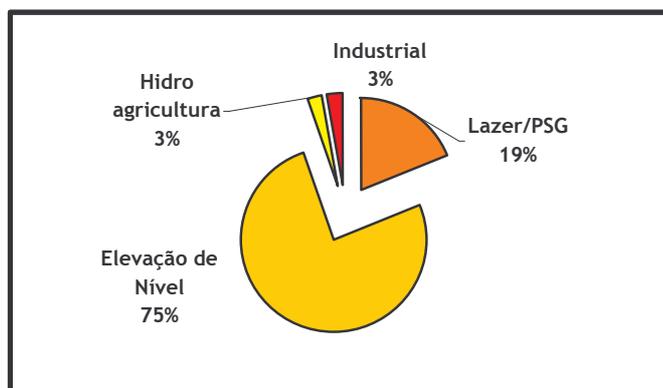


Figura 5.3.3. Finalidade das Barragens do Ribeirão das Cabras

Segundo o IPT (2002), quanto aos aspectos geológico-geotécnicos a sub-bacia das Cabras situa-se na região leste do município de Campinas e apresenta em sua porção noroeste superior milonitos quartzo feldspatos indiferenciados da Zona de Cisalhamento Valinhos (ZCV) e falhas com lineamento nordeste e faixas de brechação. Ao longo do Ribeirão das Cabras, na parte central da sub-bacia, afloram rochas gnáissicas do Complexo de Itapira com intrusões de granito da Suíte Granulítica Morungaba e diques pórfiros.

Também foram caracterizados três tipos de terrenos na área em estudo definidos como: colinoso ondulado – relevo de colinas de menor porte com declividades entre 4 e 16% e amplitudes pequenas, Amorreados ondulados a inclinados – altitudes elevadas de baixa declividade e Amorreados de inclinação moderada a forte – altitudes elevadas e declividades de 12 a 30%. Na área de ocorrência de rochas gnáissicas, formam-se solos areno-argilosos com frações grossas, devido à resistência de alguns minerais como quartzo e feldspato potássico. Solos podzólicos vermelho amarelo, com profundidade de 1,5 metro foi detectado e o solo de alteração é predominantemente argiloso.

As planícies fluviais ao longo do Ribeirão das Cabras compreendem as planícies de inundação e são sustentadas por areias siltsas, areias finas e médias, e com camadas de argila e argila orgânica. Tais depósitos podem atingir uma espessura de até oito metros.

A bacia do Ribeirão das Cabras pode ser considerada como sendo potencialmente favorável à ocorrência de processos erosivos, de alta e média intensidades, devido às características morfométricas do terreno e do tipo de solo.

A figura 5.3.4 ilustra a espacialização dos eventos históricos e relação com ocorrência de enchentes na APA de Campinas, ou seja, engloba a bacia do Ribeirão das Cabras. Este mapa, entre outras informações, delimita áreas potenciais de enchentes na região, assim como, o uso e ocupação do solo. De acordo com o mapa, pode-se notar que o Ribeirão das Cabras possui o maior número de áreas sujeitas a enchentes.

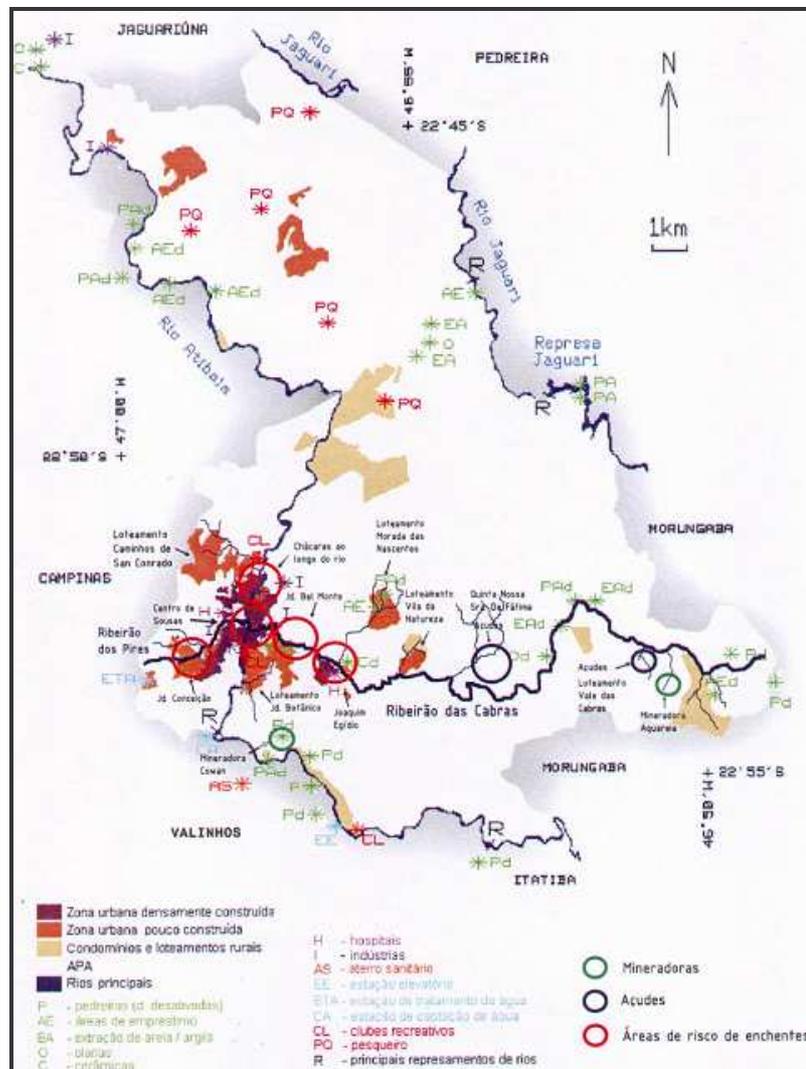


Figura 5.3.4. Espacialização dos eventos históricos e relação com ocorrência de enchentes na APA de Campinas. Fonte: FACCINA NETO et al (2004).

6) RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta inicial para a aplicação da metodologia ISB seria a de vistoriar as 37 barragens aprovadas pelo DAEE na bacia do Ribeirão das Cabras. Após contato com o responsável pela administração do maior proprietário de barragens da região, não foi possível a autorização para a realização das vistorias. O proprietário em questão possui em torno de 25 barragens, que correspondem à cerca de 68% de todas as barragens aprovadas e representam 41% do total geral de barragens localizadas neste curso d'água, aprovadas ou não. As outras 12 barragens, remanescentes do universo das “aprovadas”, não se mostraram como um universo satisfatório para a validação da metodologia, além de ser bastante complexo o contato com cada um de seus proprietários a fim de obter uma autorização para a realização das vistorias.

Contudo, optou-se por aplicar a metodologia ISB nas mesmas 24 barragens avaliadas pelo IPT, a partir das informações disponíveis no laudo produzido por eles, e auferir o resultado desta avaliação com a aplicação da metodologia aplicada por KUPERMAN *et al* (2001) nas barragens da SABESP, por se tratar de uma metodologia já testada. Portanto, consegue-se auferir a metodologia ISB duas vezes, ou seja, com os resultados levantados pelo IPT e pela metodologia do KUPERMAN *et al* (2001), aqui denominada de IC.

Para a aplicação da metodologia ISB, é necessária a coleta de algumas informações prévias sobre o empreendimento em estudo. Portanto, foram preenchidas fichas para cada barragem, conforme modelo a seguir. Foram contemplados todos os dados necessários, a partir do uso de levantamento fotográfico disponível no laudo do IPT, disponibilizado pelo DAEE, além de informações físicas sobre o empreendimento.

É importante ressaltar que, outras informações importantes como o volume do reservatório, não estavam disponíveis, portanto optou-se por indicar a informação referente a área do mesmo. Para as informações de posição na cascata, foi utilizado um mapa, também fornecido pelo DAEE, que ilustra todas as barragens situadas no Ribeirão das Cabras, que foi desenhado a partir de fotografias aéreas ou mapas de satélites.

A seguir, um exemplo de ficha a ser preenchida para cada empreendimento.



Foto do barramento em estudo, no caso a B4.

Fonte: IPT, 2002.

Identificação do Barramento:

ID: B4.
 Localização: Joaquim Egídio.
 Bacia / Sub-bacia: Ribeirão das Cabras.
 Curso d'água barrado: Ribeirão das Cabras.
 Ano de Início: ND.
 Ano de Conclusão: ND.
 Situação de Manutenção: () Inexistente (X) Insuficiente () Suficiente
 Possui Regras Operacionais de Segurança: () Vertedouro () Maciço () Tomada d'água (X) Outros: Não.
 Documentação Técnica Existente: (X) Parte do Projeto () Projeto Básico () Projeto Executivo () Como construído
 Acidentes relacionados: (X) não () sim. Quantos? _____

Caracterização da Barragem:

Tipo: (X) terra () Enrocamento () Concreto () outros: _____
 Comprimento (m): 158 metros (crista), largura da crista: 5,0 m.
 Altura (m): 11,5 metros
 Área do Reservatório (m²): 20.238 (NA máximo)

Vertedouro: 2, um tipo monge e outro lateral constituído de tubulação de concreto com diâmetro de 0,70 m próximo ombreira direita.

Tipo: (X) canal revestido () canal escavado em rocha () canal escavado em solo natural () inexistente
 Período de Retorno (anos): ND
 Condições Físicas: () boa (X) regular () ruim () péssima

Usos Atuais:

() abastecimento urbano () controle de cheia () geração de energia
 () abastecimento hidro-agrícola () piscicultura (X) regularização
 () Lazer () rejeitos sólidos () outros

Situação da área a Jusante do Reservatório:

() cidades / população () perímetros irrigados (X) Infra-estruturas (pontes, ferrovias, estradas)
() barragens. Quantas: _____ () outros: _____

Situação da área a Montante do Reservatório:

Barragens: () Não (X) Sim. Quantas? 3. Localização na cascata: terço de jusante.

Situação do Reservatório e Entorno:

eutrofização no reservatório: (X) não () pouco () mediano () muito
alteração do uso e ocupação do solo: () significativa () alguma (X) insignificante () ND
eliminação da vegetação natural ou implantada: () sim () não (X) parcial

Drenagem e Taludes:

presença de vazamento: () inexistente (X) pouco () razoável () muito
presença de deformações: () inexistente (X) pouco () razoável () muito
deterioração em aspectos gerais e taludes: () inexistente () pouco (X) razoável () muito
evidências de erosão a jusante: () inexistente (X) pouco () mediano () muito

inclinação do talude montante: 1(V):1,3(H) e
talude jusante: 1(V):1,4(H).

Observações:

Localiza-se a cerca de 230 metros da B5 (foto barragem menor).

Vistoriado por: IPT

Data: 22/07/02

A partir dos dados compilados nas fichas, para cada barragem, foi possível atribuir um conceito para cada um dos dezoito critérios necessários à aplicação da metodologia ISB. Cada um desses conceitos foi “traduzido” por uma nota (eixo y), que varia de 1 a 100 para todos os critérios contemplados, a partir do cruzamento do conceito conseguido para determinado critério (eixo x) e sua curva de função de valor. Esta nota foi elevada ao seu peso correspondente, ou seja, o peso do critério, determinado a partir de opiniões técnicas. Distribuiu-se 20 questionários, conforme anexo D, para se obter as opiniões técnicas e 12 deles foram respondidos, ou seja, 60% de retorno. Contudo, o valor do ISB foi determinado por meio da produtória de todas estas dezoito notas, conforme item 5.1. A tabela 6.1 ilustra o resultado da aplicação da metodologia ISB para as 24 barragens estudadas no Ribeirão das Cabras.

Tabela 6.1. Resultado da aplicação da Metodologia ISB.

CRITÉRIOS AVALIADOS	BARRAGENS EM ESTUDO																							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24
Importância	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dimensões	12	12	12	12	12	12	33	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	33	12	12	12	12	12	12
Tipo de Barragem	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Tipo de Vertedor	50	50	50	100	50	50	50	50	50	100	100	50	100	100	100	50	100	50	50	50	50	50	50	100
TR órgãos de segurança	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Instalações a jusante	35	52	52	35	35	52	52	52	52	52	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	10
Instalações a montante	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	40
Idade	60	5	5	5	5	5	50	5	5	60	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	78
Qualidade de Dados Técnicos	30	30	30	30	30	30	30	30	30	10	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Presença de Vazamentos	20	52	100	52	52	20	20	52	100	100	52	100	52	20	7	100	52	52	20	52	52	7	52	100
Presença de Deformações	52	52	100	52	52	5	20	52	100	100	52	20	52	20	20	20	20	5	20	5	5	5	5	20
Deteriorações em aspectos gerais e taludes	5	20	100	20	20	5	20	20	20	65	20	20	20	20	20	20	20	20	20	5	5	5	5	20
Erosão a jusante	35	65	65	65	35	9	20	65	65	65	65	9	9	9	9	35	35	35	9	9	9	9	9	35
Condições do vertedor	29	100	62	62	62	1	35	62	62	29	62	29	29	29	29	29	29	29	29	1	1	29	1	29
Eutrofização do reservatório	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	100	100	50	100	100
Alteração no uso do solo	60	100	100	100	100	100	100	60	60	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60
Eliminação da vegetação	10	10	40	40	40	40	40	40	40	40	40	10	10	10	40	40	40	40	40	10	10	10	40	40
Histórico de acidentes	100	100	100	100	100	58	100	100	100	58	100	100	100	100	100	100	100	100	100	58	58	58	58	100
CLASSIFICAÇÃO ISB	32	38	47	39	37	19	38	38	41	46	41	30	32	28	28	35	35	33	29	19	19	20	20	37

Resumo das Condições de Segurança:

BOA: $91 \leq ISB \leq 100$

SATISFATÓRIA: $81 \leq ISB \leq 90$

REGULAR: $61 \leq ISB \leq 80$

DEFICIENTE: $31 \leq ISB \leq 60$

INSATISFATÓRIA: $0 \leq ISB \leq 30$

De acordo com a tabela 5.1.2, cuja classificação de segurança foi recomendada pelo EUA – *Design of Small Dams* (1987), a partir do ISB obtido, este é relacionado com a condição de segurança apresentada pela barragem.

Segundo os resultados obtidos pelo ISB 62,5% das 24 barragens, onde se aplicou a metodologia, apresentaram “condição insatisfatória”, ou seja, existe uma deficiência nas condições da segurança da barragem em condições normais de carga. Ações corretivas imediatas são requeridas para a solução do(s) problema(s). Cerca de 37,5 % apresentaram “condição deficiente”, ou seja, uma deficiência potencial na segurança da barragem é claramente reconhecida em condições de cargas normais. Ações imediatas são recomendadas para que se possa resolver a deficiência. Restrições na operação do reservatório podem ser necessárias até a resolução do(s) problema(s).

Conseguiu-se constatar que 96% destas barragens possuem documentação ou informações relativas ao projeto inadequadas ou insuficientes e 4% delas não possuem documentação alguma, inclusive não estavam nem cadastradas entre as 37 barragens aprovadas pelo DAEE. Não havia informações sobre período de retorno dos órgãos de descarga para 100% delas e tampouco informações sobre o volume do reservatório. No máximo, a altura do maciço, para assim se determinar as dimensões da barragem - 22 delas são de pequeno porte e 2 delas de médio porte. Cerca de 17% delas possuíam algum tipo de informação sobre a idade da estrutura e o restante, ou seja, 83% não tinham essa informação disponibilizada. Todos estes fatores juntos, com certeza, colaboraram para o resultado alarmante obtido para a avaliação de segurança destas estruturas.

As barragens identificadas em condições mais sofríveis são: B6, B20, B21, B22 e B23. O resultado do ISB para as três primeiras foi de 19 e para as duas últimas, de 20. Os problemas encontrados na B6, B20, B21 e B23, que efetivamente cooperaram para este resultado crítico, foram: a idade desconhecida da barragem, a presença de deformações, a deteriorações em aspectos gerais e taludes, a erosão observada a jusante e as condições dos órgãos de descarga. A B22 apresentou os mesmos problemas, com exceção as condições dos órgãos de descarga que foi substituída pela presença de vazamentos.

Ressalta-se que os resultados obtidos corroboram com os resultados obtidos por MCCULLY (2002), ou seja, a maioria das falhas ocorre com barragens de pequeno porte e elas constituem a maiorias das barragens construídas. Os fatores que mais contribuíram para a falta de segurança das estruturas, fora os já listados, foram: as condições dos equipamentos do vertedor ou descarregador, evidências de erosão a jusante, presença de deterioração em aspectos gerais e taludes, presença de deformações e presença de vazamentos.

As causas de rupturas encontrados nas estruturas da Índia por NARAYANA, SINGH e PANDYA (1984) foram as mesmas deficiências identificadas no presente trabalho, tais como: a capacidade inadequada e desgaste excessivo do vertedor, estabilidade estrutural duvidosa das barragens e presença de vazamentos. Nota-se, portanto, a seriedade dos resultados obtidos pelo ISB.

Desta forma, constata-se que a metodologia ISB é bastante fácil de ser aplicada e produz um resultado que permite identificar os problemas pontuais de cada estrutura, a fim de se poder implementar as medidas corretivas pertinentes.

Com o propósito de se comparar os resultados obtidos com a aplicação da metodologia ISB foi aplicada a metodologia IC, ao mesmo grupo de barragens.

Para a aplicação da metodologia IC, desenvolvida por KUPERMAN *et al* (2001), partiu-se da mesma ficha preenchida para a aplicação da metodologia ISB, para cada uma das vinte e quatro barragens em estudo. A tabela 6.2 mostra o resultado da IC. Os intervalos e condições de segurança das barragens definidas pelos autores são: $IC > 70$ – Normalidade, $70 \geq IC > 60$ – Atenção, $60 \geq IC > 50$ – Alerta e $IC \leq 50$ – Emergência.

Com a aplicação da metodologia IC, chegou-se aos seguintes resultados: cerca de 62,5% das barragens se encontram em situação de Emergência, ou seja, estudos detalhados sobre a barragem indicam haver anomalias que representam risco à segurança da mesma. Dependendo do tipo de barragem e do problema apresentado a situação pode ficar fora de controle e haver risco de ruptura iminente. Pode haver necessidade de rebaixamento imediato do reservatório, eventualmente de abandono do local e de acionamento de um Plano de Ação Emergencial.

Cerca de 25% das barragens encontra-se em estado de Alerta, ou seja, existem anomalias que podem representar eventual risco à segurança da barragem. Há uma necessidade de uma avaliação detalhada da real situação da barragem, reavaliação do índice de comportamento e estudo de alternativas para reparos. Devem ser tomadas providências para eliminação ou controle do problema.

Cerca de 8,3% das barragens se encontram em estado de Atenção, ou seja, há alguns defeitos que não comprometem o desempenho da unidade; as anomalias ou restrições existentes não apresentam risco à segurança da barragem no curto prazo, porém devem ser controladas e monitoradas. Levantamentos e estudos devem ser realizados para confirmar ou alterar o índice de comportamento da unidade. Não há, ainda, necessidade de priorizar eventuais intervenções corretivas.

E apenas cerca de 4,2% ou uma barragem (B3) encontra-se em estado de Normalidade, ou seja, não há defeitos reportáveis; caracteriza a barragem ou situação que não possui qualquer restrição à operação ou que comprometa a segurança da estrutura. Não requer quaisquer ações imediatas. Este resultado para a B3 coincide com o ISB, que foi o maior valor obtido.

Os principais parâmetros que comprometeram a segurança da estrutura foram: o desconhecimento do volume do reservatório, o desconhecimento da vazão de projeto, documentação ou informações relativas ao projeto inadequadas ou insuficientes, pouca frequência de avaliações de segurança e a condição dos equipamentos descarregadores. A tabela 6.2 traz o resultado da aplicação da metodologia IC.

Pode-se notar que, de acordo com os resultados, o ISB fornece valores conservadores. Na IC, a B3 estaria normal e no ISB apresenta alguma deficiência.

Tabela 6.2. Resultado da aplicação da Metodologia IC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	BARRAGENS EM ESTUDO																							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24
Importância	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Dimensões	10	10	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10
Volume	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Impacto a jusante - social	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Impacto a jusante - ambiental	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0
Impacto a jusante - econômico	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
Tipo de Barragem	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Órgão Vertente	15	5	15	15	15	15	5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	5	15
Vazão de Projeto	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Periculosidade Potencial	57	48	58	57	57	58	44	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	54	58	57	57	57	47	54
Informações de Projeto	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Frequência de Avaliação	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Percolação	5	15	20	15	15	5	5	15	20	20	15	20	15	5	0	20	15	15	5	15	15	0	15	20
Deformações	15	15	20	15	15	0	5	15	20	20	15	5	15	5	5	5	5	0	5	0	0	0	0	5
Nível de Deterioração paramentos e taludes	3	4	15	4	4	3	4	4	4	4	12	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4
Erosões a jusante	6	12	12	12	6	4	6	12	12	12	12	4	4	4	4	6	6	6	4	4	4	4	4	6
Condição de vertedores	6	15	8	8	8	6	3	8	8	6	8	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	6	3	6
Estado Real da Barragem	39	65	79	58	52	22	27	58	68	72	58	43	48	28	23	45	40	33	28	29	29	17	29	45
CLASSIFICAÇÃO IC	46,2	58,2	70,6	57,6	54	36,4	33,8	58	64	66,4	58	49	52	40	37	50,2	47,2	42,6	40	40,2	40,2	33	36,2	48,6

Resumo das Condições de Segurança:

NORMALIDADE: IC > 70

ATENÇÃO: 70 ≥ IC > 60

ALERTA: 60 ≥ IC > 50

EMERGÊNCIA: IC ≤ 50

Também para confirmar os resultados do ISB, foi analisado o laudo apresentado pelo IPT.

Em 2002, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) realizou, a pedido do DAEE de Campinas, uma inspeção técnica nas barragens de terra existentes na bacia do Ribeirão das Cabras. O estudo englobou 24 barragens visando identificar indícios de anomalias geotécnicas que pudessem colocar em risco a segurança destas barragens e propor recomendações para a realização de investigação complementar.

As seguintes atividades foram realizadas no estudo do IPT:

- ✓ Análise da documentação existente sobre as barragens;
- ✓ Sobrevôo para reconhecimento da área da bacia e identificação de barragens não cadastradas;
- ✓ Vistoria de barragens localizadas em fazendas com um grande número de barragens ou estruturas que sofreram incidentes ou acidentes;
- ✓ Caracterização dos aspectos geológico-geotécnicos do meio físico; e
- ✓ Emissão de um laudo.

Quanto aos problemas de segurança detectados nas 24 barragens estudadas, se analisadas sob o aspecto de priorização dos trabalhos de melhorias de segurança, incluindo-se aspectos referentes aos estudos hidráulicos-hidrológicos, temos os seguintes resultados, que se encontram na tabela 6.3. É importante esclarecer que, numa escala de 1 a 3, quanto menor o número mais grave é a situação do empreendimento.

Tabela 6.3. Grau de Deficiência das Barragens Estudadas pelo IPT

Grau 1	37,50%
Grau 2	12,50%
Grau 3	33,33%
Não Aplicável	16,67%

Fonte: Resumido do Laudo IPT n° 62.317, ano: 2002.

A figura 6.1 ilustra a distribuição das barragens pesquisadas pelo IPT quanto ao Grau de Deficiência.

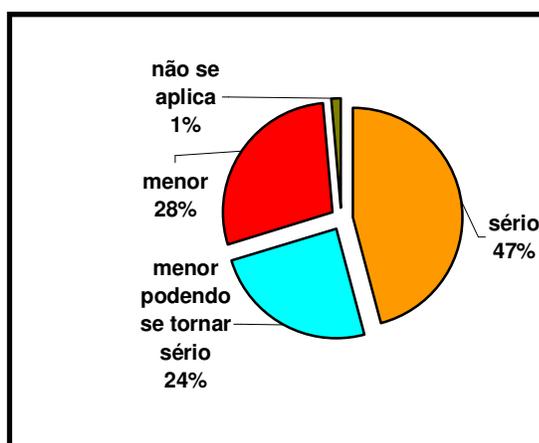


Figura 6.1. Distribuição das Amostras do IPT quanto ao Grau de Deficiência.

Fonte: Resumido do Laudo IPT nº 62.317, ano: 2002.

Pode-se perceber que a maioria das barragens estudadas (37,5%), pois apresentaram “grau 1”, naquela ocasião, demandava alguns reparos imediatos (tabela 6.3). Como se não bastasse, deste total, 47% apresentavam um risco sério de rompimento (figura 6.1).

Foram, ainda, detectadas 205 anomalias, as quais se distribuíram da seguinte forma quanto aos seus tipos, segundo consta na tabela 6.4.

Tabela 6.4. Resumo das Ocorrências Identificadas nas Barragens Estudadas pelo IPT

PROBLEMAS / ANOMALIAS	%
Alteração das características geométricas (AG).	3,4
Anomalias na cobertura vegetal (CV)	8,8
Anomalias na drenagem superficial (DS)	2,4
Anomalias na proteção superficial (PS)	7,8
Assoreamento (AS)	1,0
Borda livre variável e/ou pequena (BL)	3,9
Documentação incompleta ou inexistente (DO)	11,7
Erosão superficial (ES)	9,8
Capacidade de extravasamento do vertedor não disponível (HH)	0,5
Inclinação do talude acentuado ou relativamente acentuado (IA)	18,5
Inexistência de vertedouro de superfície ou insuficiência de extravasamento, ou inexistência de canal de restituição ou de muros de ala (IN)	17,6
Instabilidade de talude (IT)	2,9
Ruptura de barragem (RB)	1,5
Surgências de água (SU)	6,3
Trincas no aterro (TA)	3,9
TOTAL	100,0

Fonte: modificado de IPT (2002).

A figura 6.2 ilustra as partes afetadas, constituintes das barragens estudadas pelo IPT.

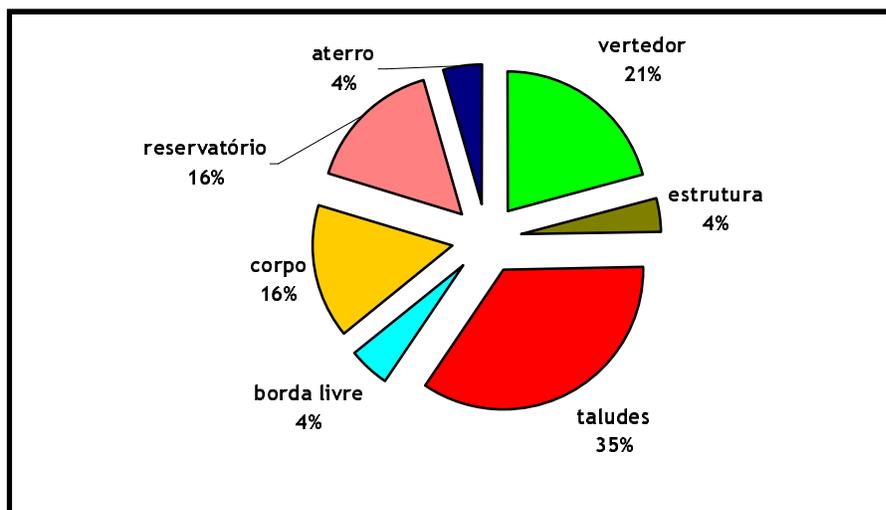


Figura 6.2. Partes das Barragens Afetadas nas Amostras IPT

Fonte: Resumido do Laudo IPT n° 62.317, ano: 2002.

A área das barragens mais afetada por anomalias foi a dos taludes (35%), seguido pelo a do vertedor (21%) e a do corpo e a do reservatório (ambos com 16%). É importante ressaltar que com estas estatísticas podemos justificar o porquê dos 47% de barragens com risco iminente de colapso. Estas partes constituintes das barragens são de suma importância para um bom desempenho nas questões de segurança.

Das 24 barragens pesquisadas pelo IPT, quatro delas por eles denominadas de BX, B1, B2 e B6, as quais correspondem a 16,7% da amostra pesquisada, romperam durante as cheias de 16 de fevereiro de 2002 e, ainda, duas delas (8,3%) denominadas B3 e B5 galgaram, porém não romperam.

Com todos estes problemas observados, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- ✓ nenhum dos vertedores se mostrou suficiente para a chuva ocorrida, demonstrando que as vazões utilizadas para o seu dimensionamento foram altamente

subestimadas ou o tempo de retorno considerado para a vazão de projeto não era adequado para obras desta natureza;

- ✓ o efeito cascata foi o grande causador de estragos maiores, contudo as barragens a jusante não foram dimensionadas levando-se em consideração sua posição na cascata;
- ✓ danos sócio-econômicos poderiam ser ainda maiores se as barragens fossem de maior porte;
- ✓ taludes mal proporcionados e mal projetados facilitaram o rompimento;
- ✓ aparentemente as barragens não foram construídas com um projeto adequado, e mesmo as que o apresentavam, segundo o IPT, a realidade observada em campo não correspondia ao projeto; e
- ✓ não há uma preocupação dos órgãos competentes em se avaliar periodicamente a situação de segurança das barragens da região, contrariando, assim, as tendências mundiais atuais.

Contudo, o IPT chegou a algumas considerações finais sobre as 24 barragens pesquisadas de acordo com a priorização para execução de melhorias de segurança no maciço de terra. Nesta priorização não foram considerados os aspectos hidráulicos-hidrológicos das barragens que, neste caso, a classificação era de grau máximo, ou seja, 1, para estudo e avaliação. A tabela 6.5 traz estes resultados.

Tabela 6.5. Classificação da barragem quanto priorização para execução das melhorias de segurança

BARRAGEM	CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO PRIORIZAÇÃO PARA EXECUÇÃO DAS MELHORIAS DE SEGURANÇA			
	1	2	3	NÃO SE APLICA
B1-A	X			
B2-A	X			
B3-A				X
B4-A		X		
B5-A	X			
B6-A				X
B7-A	X			
B8-A			X	
B9-A		X		
BX			X	
B1-B			X	
B2-B	X			
B3-B			X	

CONTINUAÇÃO:				
B4-B	X			
B5-B	X			
B6-B			X	
B7-B			X	
B8-B		X		
B9-B			X	
B1-C				X
B2-C				X
B3-C	X			
B5-C	X			
BI-D			X	
TOTAIS	9 (37,5%)	3 (12,5%)	8 (33,3%)	4 (16,7%)

Fonte: modificado de IPT (2002).

Em que:

- ✓ Prioridade 1: maior;
- ✓ Prioridade 2: intermediária; e
- ✓ Prioridade 3: menor.

Ou seja, cerca de 37,5% das barragens necessitam de reparos imediatos, 12,5% de algum tipo de reparo urgente e 33% das barragens necessitam de reparos, porém, não tão críticos. Segundo o IPT, então, a maioria das barragens necessita de intervenção urgentemente.

Finalmente, na figura 6.3 pode-se observar a distribuição das anomalias encontradas nas amostras quanto ao tipo.

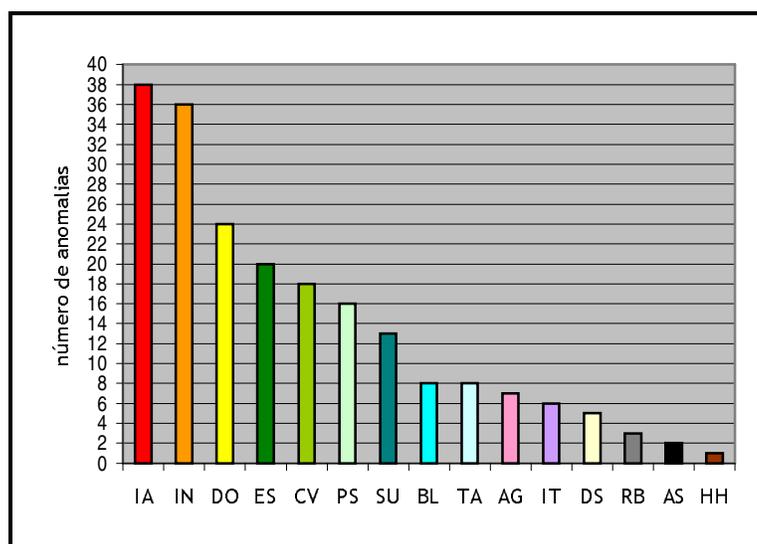


Figura 6.3. Distribuição das anomalias quanto ao tipo. Fonte: IPT, 2002.

Em que:

- ✓ Alteração das características geométricas (AG).
- ✓ Anomalias na cobertura vegetal (CV)
- ✓ Anomalias na drenagem superficial (DS)
- ✓ Anomalias na proteção superficial (PS)
- ✓ Assoreamento (AS)
- ✓ Borda livre variável e/ou pequena (BL)
- ✓ Documentação incompleta ou inexistente (DO)
- ✓ Erosão superficial (ES)
- ✓ Capacidade de extravasamento do vertedor não disponível (HH)
- ✓ Inclinação do talude acentuado ou relativamente acentuado (IA)
- ✓ Inexistência de vertedouro de superfície ou insuficiência de extravasamento, ou inexistência de canal de restituição ou de muros de ala (IN)
- ✓ Instabilidade de talude (IT)
- ✓ Ruptura de barragem (RB)
- ✓ Surgências de água (SU)
- ✓ Trincas no aterro (TA)

Portanto, o problema encontrado mais comum é inclinação acentuada ou relativamente acentuada de taludes (80% dos taludes), seguido por inexistência de vertedouro de superfície ou insuficiência de extravasamento, ou, ainda, inexistência de canal de restituição ou de muros de ala (para 100% dos vertedores encontrados) e documentação incompleta ou inexistente para 100% das barragens. Todos estes problemas, sem contar os outros, são bastante graves e definitivamente colaboram para a insegurança da estrutura e as estatísticas certamente são alarmantes.

A tabela 6.6 mostra resumo das características, problemas e conseqüências da passagem da onda de cheia nas barragens que apresentaram ruptura no estudo do IPT.

Tabela 6.6: Resumo sobre as barragens que sofreram ruptura no estudo do IPT

BARRAGEM	CARACTERÍSTICAS	PROBLEMAS	CONSEQUÊNCIAS
BX	Pequeno porte (*), de terra homogênea e com descarregador constituído por duas tubulações de concreto situadas na sua região central.	Vertedor se mostrou insuficiente para a passagem segura de cheias. Tratava-se de uma barragem localizada a cerca de 630 metros a montante da B6, que foi galgada e rompeu.	Galgou na região da ombreira direita e rompeu. A passagem da cheia provocou erosões.
B6	Pequeno porte, de terra homogênea e dotada de um descarregador lateral.	Havia diferenças importantes entre as informações contidas em projeto e as informações obtidas em campo. Insuficiência de extravassamento do vertedor de superfície existente.	Rompeu, liberou uma onda de cheia para jusante, causando prejuízos econômicos e sociais à população. Abertura de brecha na sua região central e ruptura dos taludes de montante e jusante.
B1	Pequeno porte, de terra homogênea construída com solo e dotada de um vertedor de superfície livre lateral, situado na ombreira esquerda.	Provavelmente, o rompimento desta barragem se deu pelo transbordamento e ruptura seqüencial das barragens B2 e B3.	Rompeu por transbordamento e sua ruptura se deu na região de máxima altura sobre a fundação, junto à ombreira esquerda, com a abertura de uma brecha no maciço da barragem que liberou uma onda de cheia para a região à jusante, causando prejuízos sócio-econômicos a população. O talude de montante apresentava rupturas parciais e abatimentos, causados pelo esvaziamento rápido do reservatório e o talude de jusante foi lavado em toda a sua extensão.
B2	Pequeno porte, de terra homogênea construída com solo e dotada de um vertedor de superfície livre lateral, situado na ombreira esquerda.	A provável causa do rompimento da B2 foi o transbordamento da B3 e pelas precipitações intensas na bacia de contribuição da B2, que superam a capacidade de extravasamento do seu vertedor de superfície. Proximidade do canal de restituição do vertedor de superfície ao aterro da barragem, que pela intensidade da vazão descarregada poderia ter provocado erosões no pé do aterro da barragem e, assim, instabilizado-a e eventual desnível da crista, menor dimensão na região da ruptura, que poderia ter concentrado a onda de cheia neste local.	Seu rompimento se deu na região de máxima altura sobre a fundação, junto à ombreira esquerda, com a abertura de uma brecha no maciço da barragem que liberou uma onda de cheia para a região à jusante, causando a ruptura da B1. O talude de montante apresentava rupturas parciais e abatimentos, causados pelo esvaziamento rápido do reservatório e no topo do talude de jusante havia trincas que poderiam estar associadas à sua instabilização.
B3	Pequeno porte, de terra homogênea construída com solo e era dotada de um vertedor de superfície livre lateral situado na ombreira esquerda.	A onda de cheia superou a capacidade de extravasamento de seu vertedor de superfície.	Esta barragem sofreu galgamento devido à ruptura do talude de jusante e, em caráter emergencial, tinha sido aberto um canal na ombreira direita para esvaziamento do reservatório. O problema provocou instabilidades e erosões internas no talude de jusante e o talude de montante também rompeu em proporções menores.
B5	Pequeno porte, de terra homogênea construída com solo e era dotada de um descarregador em tubo de concreto localizado na região central da barragem.	A onda de cheia superou a capacidade de extravasamento de seu vertedor de superfície.	Esta barragem sofreu galgamento devido à ruptura e erosão do talude de jusante e, em caráter emergencial, tinha sido aberto um canal na ombreira direita para esvaziamento do reservatório.

Fonte: Resumido do Laudo IPT nº 62.317, ano: 2002.

(*) segundo classificação do CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens.

Os resultados obtidos para as três avaliações, ou seja, a realizada pelo IPT, a metodologia ISB e a metodologia IC, constataram que as barragens possuem sérios problemas que comprometem a sua segurança. Segundo o IPT, que contava com um número maior de informações sobre as barragens, cerca de 37,5% das barragens precisa de intervenções urgentes e 12,5% delas de algum tipo de intervenção rapidamente, ou seja, 50% delas se encontram em estado inseguro. Na metodologia ISB, a metodologia mais rigorosa em parâmetros concernentes a segurança, 37,5% das barragens apresentaram-se em condições insatisfatórias e 62,5% em condições deficientes e, portanto, 100% das barragens necessitam de intervenção urgente. Na metodologia IC, 62,5% das barragens encontram-se em condições de emergência 25% em condições de alerta, ou seja, 87,5% necessitam de algum tipo de intervenção urgentemente.

O IPT utilizou a metodologia conhecida por *ad hoc* para avaliar a segurança das barragens. Ou seja, apenas tomou nota de situações inseguras observadas e fez uso de algumas estatísticas para chegar a seus resultados. Por este motivo, acredita-se que os resultados obtidos tenham sido mais otimistas em termos da situação de segurança das estruturas, muito embora, as falhas a serem corrigidas eram de bastante gravidade e chegaram nos mesmos 37,5% de barragens encontradas pela metodologia ISB que necessitam de reparos imediatos.

Tanto a metodologia ISB como a IC, partiram dos mesmos dados disponíveis para se avaliar a segurança das estruturas e, com isso, chegaram a resultados bastante parecidos, ou seja, 100% das barragens necessitam de estudos mais detalhados segundo o resultado obtido pela ISB e 87,5% delas necessitam do mesmo cuidado, segundo a IC. Como o IPT não compilou em seu laudo todas as informações disponibilizadas para realizarem o seu estudo, é perfeitamente compreensível que estas duas avaliações obtivessem resultados mais conservadores.

Desta forma, pode-se chegar as seguintes conclusões: a falta de monitoramento contínuo, a falta de documentação adequada, incluindo-se projetos e outorga e a falta de fiscalização destas obras em todas as fases de suas vidas são fatores primordiais para a falta de segurança das barragens em estudo.

Finalmente, pode-se concluir que os fatores listados por DUSCHA (1989), os quais estabeleciam que a segurança de barragens depende de fatores sociais-econômicos-políticos, mais

do que fatores técnicos, e, ainda, depende: da sofisticação técnica, social e econômica do país, do tamanho do país e da grandeza econômica, do grau atingido de desenvolvimento, da prioridade econômica do governo, da força da legislação concernente à segurança em barragens, do valor da vida, das questões culturais relativas a eventos catastróficos e da capacidade do corpo técnico e dos recursos dedicados à segurança de barragens, são verdadeiros. O Brasil prova-se como um país realmente em desenvolvimento em quase todos os quesitos listados.

Pode-se dizer que os problemas encontrados nas barragens estudadas são inerentes a maioria das barragens brasileiras de pequeno porte, justamente pelo fato do país ainda não contar com uma legislação específica e não possuir uma articulação clara das responsabilidades de cada órgão competente nas questões que envolvem a segurança de barragens. Em países como Portugal e Canadá, existe legislação e manuais voltados a empreendimentos de pequeno porte, o que é perfeitamente compreensível, visto que apenas 1% das barragens do mundo tem altura superior a 150 metros e 65% delas possuem altura até 30 metros (WCD, 2001).

7) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia aqui desenvolvida e denominada de “Metodologia ISB” – Índice de Segurança de Barragens, provou-se válida e uma importante ferramenta na avaliação da segurança de barragens ou açudes. Como foi comparada a duas outras metodologias e os resultados obtidos pelas três não são, de forma alguma, contraditórios, valida-se claramente esta metodologia.

É importante ressaltar que, como a Metodologia ISB parte de um número maior de parâmetros a serem avaliados e a proposta inicial é de ir sempre a favor da segurança, esta metodologia se mostrou conservadora em seus resultados, ou seja, rígida quanto às questões de segurança de estruturas desta natureza, o que dado às implicações catastróficas que o incidente ou acidente com barragens podem ocasionar, este é um fator bastante positivo.

Como não foi possível fazer visitas a campo, pois não se conseguiu autorização dos proprietários das barragens, e tampouco se teve acesso às documentações e informações mais detalhadas das barragens em estudo, recomenda-se aplicar a metodologia ISB em estruturas nas quais se consiga acesso a todas as informações disponíveis e necessárias a uma precisa avaliação de segurança de cada estrutura. No caso em estudo, todas as barragens eram de terra e a grande maioria, cerca de 92%, eram de pequeno porte e os outros 4% eram de médio porte. Portanto, recomenda-se, também, aplicar esta metodologia a barragens com características mais diversas, no que concerne à tamanho, tipo, idade, importância, entre outros critérios contemplados.

Como este estudo foi baseado num estudo realizado por terceiros, no caso o IPT, não se conseguiu ter acesso a todas as informações disponibilizadas para essa entidade realizar os seus estudos e tampouco o IPT compilou no laudo produzido todas as informações conseguidas. Por exemplo, o tempo de retorno utilizado nos órgãos de segurança contra cheias, o projeto e obviamente todas as informações colhidas em campo quando da realização de uma inspeção visual por parte do avaliador, muito embora tenha disponibilizado uma grande gama de fotos dos empreendimentos, o que possibilitou a aplicação das metodologias ISB e IC.

Outro ponto a ser mencionado é o fato de este estudo do IPT ter acontecido em 2002 e seria muito interessante realizar a avaliação destas barragens para se concluir se algo do que foi recomendado pelos técnicos há três anos realmente foi realizado e, assim, poder-se-ia verificar se as barragens estão hoje em condições mais seguras, visto que as estatísticas não eram as mais favoráveis ao bem estar da população afetada no caso de um acidente ou incidente com aquelas estruturas.

Enfim, recomenda-se para os órgãos responsáveis pela fiscalização destas barragens a verificação da avaliação da segurança das mesmas e de todas as outras estruturas localizadas no Ribeirão das Cabras, visto que é sabido que muitas delas não possuem sequer outorga - cerca de 39 %, resultado obtido a partir do cruzamento de informações contidas no mapa de localização das barragens neste curso d'água com a listagem das barragens aprovadas, ambos fornecidos pelo DAEE - e com certeza devem estar colocando em risco, mais uma vez, os moradores dos Distritos de Souza e Joaquim Egídio, evitando-se, assim, maiores transtornos remediáveis e principalmente irremediáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTA ENVIRONMENTAL PROTECTION, **Inspection of Small Dams**, setembro de 1998, in <http://www3.gov.ab.ca/env/water/reports/safetyguide.pdf>, , pesquisa realizada em 04/07/2005.

ALMEIDA, A. B. de, **Segurança e Risco nos Vales a Jusante de Barragens**, 4º Congresso da Água, Lisboa, 23-27 de março de 1998.

AUSTRALIAN CAPITAL TERRITORY PARLIAMENTARY COUNSEL, **Dam Safety Code**, , dezembro de 2000, in <http://www.legislation.act.gov.au>, pesquisa realizada no dia 08/06/2005.

BARRETTI, L. R. e ANGELI, L. W., **Extravassores**, 2004, in PHD-5706 Estruturas Hidráulicas – Prof. Dr. Kokei Uehara – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, POLI, USP, http://www.fcth.br/Cursos/cursos/phd5706/phd5706_extravassores.PDF, pesquisa realizada 20/07/2005.

BONAZZI, D., **Reassessment of Safety of Existing Dams**, World Bank Technical Paper Number 115, 1991.

BORRI GENOVEZ, A. I., Estruturas Hidráulicas, Notas de Aula. Universidade Estadual de Campinas, 2004.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEIO, J.G.L., BARROS, M.T.L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N. e EIGER, S., **Introdução à Engenharia Ambiental**, Prentice Hall, 2002.

BRITISH COLUMBIA GOVERNMENT, **Water Act – British Columbia Dam Safety Regulation**, 2000, in http://www.qp.gov.bc.ca/statreg/reg/w/water/44_2000.htm, pesquisa realizada no dia 04/07/2005.

CANTWELL, B. L. e ANDERSON, D., **Dam Safety in Australia**, Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

CDA - CANADIAN DAM ASSOCIATION, **Canadian Regulations**, 2005, in <http://www.cda.ca>, pesquisa realizada em 04/07/2005.

CDA - CANADIAN DAM ASSOCIATION, **Dam Safety Guidelines**, 2005, in http://www.cda.ca/cda/main/new_guidelines_review/principles.pdf, pesquisa realizada no dia 04/07/2005.

CESP – COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, **Manejo de Reservatórios do Estado de São Paulo**, São Paulo, 1986.

CETESB, **Índice de Qualidade de Água – IQA**, 2004 in http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp, pesquisa realizada em 26/08/2004.

CBGB - COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS, **Segurança de Barragens: Recomendações para formulação e verificação de critérios e procedimentos**, Rio de Janeiro, 1986.

COMBELLES, J., **Bilan d'interventions réalisées et d'anomalies constatées sur les barrages exploités para Electricité de France**, Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

COMISSÃO DE MINAS E ENERGIA, **Substituto ao Projeto de Lei nº 1.181, de 2003**, 2004.

DANILEVSKY, A, **Dam Safety Legislation in USA**, Water Power and Dam Construction, Vol 45, nº 8, August, 1993.

DIXON, J.A., TALBOT, L.M., LE MOIGNE, G.J.M, **Dams and the Environment** . World Bank Technical Paper Number 110, 1989.

DUSCHA, L. A., **Dam Safety in the United States: What has been gained?**, Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

DUSCHA, L. A, **Dam Safety in Developed Nations**, World Bank Technical Paper Number 115, 1991.

EMAE – Empresa Metropolitana da Águas e Energia, São Paulo (extraído de www.emae.gov.sp.br em 10/01/2001).

EUA - **Design of Small Dams**. A Water Resources Technical Paper, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1987.

FACCINA NETO, J., SANTOS, R. F. dos, ZUFFO, A.C., **Subsídios para a solução de Conflitos Relativos a Enchentes e Uso Da Terra. Estudo de Caso: A APA Municipal de Campinas (SP)** - XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica São Pedro, São Paulo, Brasil, 2004.

FEMA - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, **Dam Safety and Security in the United States**, 2002, in <http://www.fema.gov>, pesquisa realizada em 22/06/2005.

GUERRA, M. de O., **Qualidade como Fator de Melhoria da Performance de Auscultação e Monitoramento de Barragens**, Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação – UNICAMP, para a obtenção do título de Mestre em Qualidade, Campinas, SP, 1996.

ICOLD, **Icold Bulletin 109 - Appendix 1 - Classification of Reported Failures (excl. China & USSR)**, 1999, in <http://www.hydrocoop.org/rsmclassificationof4.htm>, pesquisa realizada 20/07/2005.

IPT, **Relatório Técnico número 62.317**, Convênio DAEE/IPT, 2002.

JANSEN, R. B., **Dams and Public Safety**, A Water Resources Technical Paper, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1983.

KARPOWICZ, C., **Highlights of NPS Dams Program Report to Congress for 98-99**, Serial N°: ENV211, publicado no site da The World Commission on Dams, Cidade do Cabo, África do Sul, 2000, in <http://www.dams.org/kbase/submissions/showsub.php?rec=ENV211>, pesquisa realizada em 04 de julho de 2005.

KUPERMAN, S.C, RE, G., CANHOLI, A.P., NAKARANANDI, M. K., LUIZ, M.W., **Making Effective, Economical Dam Safety Decisions**, HRW / Autumn, 1995.

KUPERMAN, S.C., RE, G., FERREIRA, W.V.F., TUNG, W. S., VASCONCELOS, S. E., ZÚÑIGA, J. E. V., **Análise de Risco e Metodologia para Tomada de Decisão para Barragens: Evolução do Sistema Empregado pela Sabesp**, XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza, Novembro de 2001.

LAFITTE, R., **Probabilistic Risk Analysis of Large Dams: its value and limits**, Water Power and Dam Construction, Vol. 45, n° 3, March, 1993.

LEME, C. R.M., **The Role of Dam Safety**, Serial N°: INS060, publicado no site da The World Commission on Dams, Cidade do Cabo, África do Sul, 2000 in <http://www.dams.org/kbase/submissions/showsub.php?rec=INS060>, pesquisa realizada em 04 de julho de 2005.

LE MOIGNE, G., BARGHOUTI, S, PLUSQUELLEC, H., **Dam Safety and the Environment**. World Bank Technical Paper Number 115. 1991

LIMA, A. L., **Impactos Ambientais Associados à Usina Hidrelétrica de Três Irmãos: o Fenômeno de Ação e Reação**, Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

MAIA - Manual de Avaliação de Impactos Ambientais, Curitiba, SUREHMA/GTZ, 1999.

MARCHE C., GAGNON J., QUACH T. T., KAHAWITA R. e BEAUCHEMIN P., **Simulation of Dam Failures in Multidike Reservoirs Arranged in Cascade**, Journal of Hydraulic Engineering, November 1997.

MARENCO, H., **Consideraciones acerca del futuro de las presas**, Serial N°: INS076, publicado no site da The World Commission on Dams, Cidade do Cabo, África do Sul, 2000 in <http://www.dams.org/kbase/submissions/showsub.php?rec=ins076>, pesquisa realizada em 04 de julho de 2005.

MATOS ALMEIDA, J. N. A., **Um Projecto para a Segurança das Barragens Portuguesas**, 4º Congresso da Água, Lisboa, 23-27 de março de 1998.

MCCULLY, P., extraído do capítulo 4 – **When Things Fall Apart: The Technical Failure of Large Dams** - do livro *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams*, 2001 in <http://www.irn.org/basics/ard/pdf/srdamsafety.pdf>, Pesquisa realizada em 01/02/2005.

MENESCAL, R. de A., CRUZ, P. T., CARVALHO, R.V. de, FONTENELLE, A. de S., e OLIVEIRA, S. K. F. de, **Uma Metodologia para Avaliação do Potencial de Risco em Barragens do Semi-Árido**, XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza, Novembro de 2001.

MDNAIAIEOPTCARN - MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL, DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA, DA AGRICULTURA, DA INDÚSTRIA E ENERGIA, DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES E DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS, **Portaria nº847/93, DR 213/93, Série I-B, Aprova as Normas de Observação e Inspeção de Barragens**, Lisboa, Portugal, Setembro de 1993 in http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/legisla/l_nacional_06.html, pesquisa realizada em 26/08/2004.

MIN - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, **Manual de Segurança de Barragens**, Brasília, DF, Julho de 2002.

MOPTC - MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES, **Decreto-Lei nº 11/90, Aprova o Regulamento de Segurança de Barragens**, Lisboa, Portugal, Janeiro de 1990 in http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/legisla/l_nacional_06.html, pesquisa realizada em 26/08/2004.

MOPTC - MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES, **Decreto-Lei nº 409/93, Aprova o Regulamento de Pequenas Barragens**, Lisboa, Portugal, Dezembro de 1993 in http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/legisla/l_nacional_06.html, pesquisa realizada em 26/08/2004.

MURTHY, Y.K., **Dam Safety Evaluation in India**, World Bank Technical Paper Number 115, 1991.

NARAYANA, G. S., SINGH, M. e PANDYA, A. B., **Problems in Dam Safety encountered in India: Case histories**, Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

NOVAK, P., MOFFAT, A.I.B., NALLURI, C., NARAYANAN, R., **Hydraulic Structures**, Editora E y FN Spon, 2º Edição, GB, 1997.

ONU, **World's population reaches 6.5 billion this year, could reach 7 billion by 2012**, 2005 in <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=13379&Cr=population&Cr1=development>, pesquisa realizada 13/07/2005.

OSMAN, H., **Hydro Development in Egypt- Lessons from High Aswan Dam**, Serial N°: OPT041, publicado no site da The World Commission on Dams, Cidade do Cabo, África do Sul, 2000, in <http://www.dams.org/kbase/submissions/showsub.php?rec=opt041>, pesquisa realizada em 04 de julho de 2005.

SALAME, A., **The Qaraoun Dam and Reservoir Management**, Serial N^o: INS099, publicado no site da The World Commission on Dams, Cidade do Cabo, África do Sul, 2000, in <http://www.dams.org/kbase/submissions/showsub.php?rec=INS099>, pesquisa realizada em 04 de julho de 2005.

SANTOS, R. F. dos, in Entrevista realizada na Universidade Estadual de Campinas sobre os principais problemas ambientais que podem afetar a segurança de barragens, 2005.

SCHNITTER, N. J., **A History of Dams – The Useful Pyramids**, A. A. Balkema / Rotterdam / Brookfield, 1994.

SERAFIM, J. L., **Safety of Dams**, Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

SERAFIM, J. L. e CAVILHAS, J. L. A.A., **Failures of dams due to overtopping**. Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

TAWIL, A. H., **Dams and Safety Practices in Canada**, Proceedings of the International Conference on Safety of Dams – Coimbra / 23-28 de abril de 1984, A. A. Balkema / Rotterdam / Boston, 1984.

VELTROP, J., **Water, Dams and Civilization**, World Bank Technical Paper Number 115. 1991.

VELTROP, J., **Water, Dams and Hydropower in Coming Decades**, International Water Power & Dam Construction / June, 1991.

WAHL, T.L., **Prediction of Embankment Dam Breach Parameters**, DSO-98-004, Dam Safety Research Report, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1998, in http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/pubs/PAP/PAP-0735.DSO-98-004.pdf, pesquisa realizada 20/07/2005.

WEST, M. S., COSTA MIRANDA, J. e MATOS, E., **Avaliação de Segurança de Barragens uma comparação entre as abordagens britânica e portuguesa**, 4º Congresso da Água – Lisboa / 23-27 de março de 1998.

WORLD COMISSION ON DAMS, **Dams and Development. A new framework for decision-making**, Report of the World Comission on Dams, Editora Earthcan, Londres, GB, 2001.

ZUFFO, A. C., **Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos**, Tese de Doutorado apresentada à EESC-USP para a obtenção do título em Doutor em Engenharia Civil, São Carlos, SP, 1998.

ZUFFO, A. C., Tópicos sobre Hidrologia - Notas de aula. Universidade Estadual de Campinas, 2004.

ANEXO A

Relação das Barragens Situadas no Ribeirão das Cabras

#	CodXUsuPriv	NomeRazao	NomeFantasia	EndUsuario	Bairro	CodLocalUso	NomeCursoAgua	CodXUso	CodXFinUso	UgrhUso	QuadrUso	DistFoz Km	CoordUtmN Km	CoordUtmL Km	CoordUtmMc
1	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	0102001130715	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	2,45	7466,29	309,35	45
2	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	0102001130701	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	2,10	7468,62	305,88	45
3	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	0102001130715	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	2,05	7466,54	309,10	45
4	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	0102001130715	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	1,99	7466,60	309,00	45
5	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	0102001130715	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	1,70	7466,80	308,80	45
6	US.RURAL	ROBERTO ABDALLA	FAZENDA ALPES	FAZENDA ALPES	JOAQUIM EGIDIO	01020011307012	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	1,65	7469,18	304,64	45
7	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA SAO JOSE	FAZENDA SAO JOSE	JOAQUIM EGIDIO	0102001130712	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	1,40	7466,35	301,15	45
8	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	0102001130715	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	1,30	7467,10	308,46	45
9	PECUARISTA	LAJEADO - PARTICIPACOES E AGROPECUARIA LTDA	FAZENDA VALE DAS CABRAS	ESTRADA DAS CABRAS , KM 14,0	CABRAS	0102001130703	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,90	7467,30	310,15	45
10	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA SANTO ANTONIO	FAZENDA SANTO ANTONIO	JOAQUIM EGIDIO	0102001130714	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,70	7466,07	305,28	45
11	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	01020011307013	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,63	7467,73	306,02	45
12	US.RURAL	REGIMAR COMERCIAL S.A.	FAZENDA SANTA LUZIA	ESTRADA DAS CABRAS , KM 7,0	SOUZA	0102001130707	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	0,55	7466,35	304,48	45
13	IRRIGANTE	CENTRO ESPIRITUAL BENEFICENTE UNIAO DO VEGETAL	FAZENDA CAPOEIRA GRANDE , GLEBA F4 E F5	FAZENDA CAPOEIRA GRANDE , GLEBA F4 E F5	JOAQUIM EGIDIO	01020011307011	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,54	7469,30	305,45	45
14	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	01020011307151	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,53	7466,80	308,05	45
15	INDUSTRIAL	NITOW PAPEL S.A.	R. CORONEL ALFREDO NASCIMENTO , 516		SOUZAS	01020011307	CABRAS,RIB DAS	BA	INDUST.	500	M26	0,50	7468,59	298,77	45
16	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	01020011307153	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,50	7467,30	308,95	45
17	PECUARISTA	LAJEADO - PARTICIPACOES E AGROPECUARIA LTDA	FAZENDA VALE DAS CABRAS	ESTRADA DAS CABRAS , KM 14,0	CABRAS	0102001130703	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,45	7467,75	309,88	45
18	PECUARISTA	LAJEADO - PARTICIPACOES E AGROPECUARIA LTDA	FAZENDA VALE DAS CABRAS	ESTRADA DAS CABRAS , KM 14,0	CABRAS	0102001130704	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	0,43	7468,24	309,40	45
19	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	01020011307013	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,40	7467,70	305,79	45
20	IRRIGANTE	CENTRO ESPIRITUAL BENEFICENTE UNIAO DO VEGETAL	FAZENDA CAPOEIRA GRANDE , GLEBA F4 E F5	FAZENDA CAPOEIRA GRANDE , GLEBA F4 E F5	JOAQUIM EGIDIO	01020011307011	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,35	7469,13	305,55	45
21	PECUARISTA	LAJEADO - PARTICIPACOES E AGROPECUARIA LTDA	FAZENDA VALE DAS CABRAS	ESTRADA DAS CABRAS , KM 14,0	CABRAS	0102001130703	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,33	7467,87	309,73	45
22	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	01020011307153	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,32	7467,32	308,77	45
23	US.RURAL	MARIA STELLA GONCALVES LACERDA	FAZENDA BOA VISTA	ROD. SP81 , KM 11,0	JOAQUIM EGIDIO	0102001130708	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	0,30	7467,91	307,12	45
24	PECUARISTA	LAJEADO - PARTICIPACOES E AGROPECUARIA LTDA	FAZENDA VALE DAS CABRAS	ESTRADA DAS CABRAS , KM 14,0	CABRAS	0102001130703	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,25	7467,95	309,80	45
25	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA SANTO ANTONIO	FAZENDA SANTO ANTONIO	JOAQUIM EGIDIO	0102001130713	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,24	7466,38	305,82	45
26	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA TRES ESTRELAS	FAZENDA TRES ESTRELAS	CABRAS	01020011307152	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,23	7466,80	309,10	45
27	US.RURAL	MARIA STELLA GONCALVES LACERDA	FAZENDA BOA VISTA	ROD. SP81 , KM 11,0	JOAQUIM EGIDIO	0102001130709	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	0,20	7468,55	307,18	45
28	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	0102001130711	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,15	7467,15	305,33	45
29	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	01020011307014	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,14	7468,62	306,02	45
30	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	0102001130701	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,13	7467,31	304,54	45
31	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	0102001130711	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,10	7467,08	305,33	45
32	US.RURAL	ARTHUR MONTEFORT DIEDERICHSEN	FAZENDA SANTA HELENA DAS CABRAS	ESTRADA DAS CABRAS , KM 14,0	JOAQUIM EGIDIO	0102001130705	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	HIDROAG	500	M26	0,10	7468,75	309,15	45
33	US.RURAL	REGIMAR COMERCIAL S.A.	FAZENDA SANTA LUZIA	ESTRADA DAS CABRAS , KM 7,0	SOUZA	0102001130707	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	0,10	7466,61	304,50	45
34	COMERCIAL	ERMITAGE HOTEIS E TURISMO LTDA	COLINAS DO ERMITAGE	COLINAS DO ERMITAGE	SOUSAS	0102001130702	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	LAZ/PSG	500	M26	0,08	7468,08	299,54	45
35	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	01020011307015	SNA2 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,07	7468,34	305,99	45
36	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA SANTO ANTONIO	FAZENDA SANTO ANTONIO	JOAQUIM EGIDIO	0102001130713	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,06	7466,56	305,81	45
37	PECUARISTA	RIO CONSTRUTORA E AGRO-PECUARIA LTDA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA	JOAQUIM EGIDIO	0102001130710	SNA1 CABRAS,RIB DAS	BA	ELEVNI	500	M26	0,03	7467,01	306,38	45

ANEXO B

Projeto de Lei nº 1.181, de 2003.

PROPOSTA DE SUBSTITUTIVO
AO PROJETO DE LEI Nº 1.181, DE 2003

Versão Final do CNRH

Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens
- PNSB e cria o Sistema Nacional de Informações sobre
Segurança de Barragens – SNISB.

O Congresso Nacional decreta:

CAPÍTULO I
DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB.

Art. 2º Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, e que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I – altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a quinze metros;

II – capacidade total do reservatório maior ou igual a três milhões de metros cúbicos;

III – reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV – categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei são estabelecidas as seguintes definições:

I – Barragem: qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água, ou talvegue, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou misturas de líquidos e sólidos, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas;

II – Reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou mistura de líquidos e sólidos;

III – Segurança de Barragem: condição que vise manter a sua integridade estrutural e operacional, a preservação da vida, da saúde, da propriedade e ao meio ambiente;

IV – Empreendedor: agente privado ou governamental, com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade;

V – Órgão Fiscalizador: autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência;

VI – Gestão de risco: normas e medidas para aprevenção ou mitigação de riscos.

CAPÍTULO II

DOS OBJETIVOS

Art. 4º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB:

I – garantir a observância de padrões mínimos de segurança de barragens de maneira a reduzir as possibilidades de acidentes e suas conseqüências, visando proteção da população e do meio-ambiente;

II – criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

III – regulamentar as ações mínimas de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;

IV – promover o monitoramento e acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

V – coligir informações que subsidiem práticas de gerenciamento governamentais quanto aos aspectos de segurança;

VI – estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII – fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

CAPÍTULO III

DOS FUNDAMENTOS

Art. 5º São fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB:

I – a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais;

II – a segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;

III – a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais;

IV – o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento das ações para a garantia da segurança da mesma;

V – mecanismos de participação e controle social, como previsto na Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997 e na Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981.

CAPÍTULO IV

DOS INSTRUMENTOS

Art. 6º São instrumentos da PNSB:

I – o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;

- II – o Plano de Segurança da Barragem;
- III – o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB;
- IV – a educação e comunicação sobre a segurança de barragens.

Seção I

Da Classificação

Art. 7º As barragens serão classificadas por categoria de risco e por dano potencial associado.

§1º A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo, será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento do plano de segurança de barragem.

§2º A classificação por categoria de dano potencial associado em alto, médio ou baixo, será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

§3º Os critérios de classificação serão estabelecidos pelos respectivos órgãos fiscalizadores de que trata esta Lei.

Seção II

Do Plano de Segurança da Barragem

Art. 8º O Plano de Segurança da Barragem deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

- I – a identificação do empreendedor;

II – os dados técnicos da implantação do empreendimento, bem como os necessários para a operação e manutenção da barragem;

III – a estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança de barragens;

IV – os manuais de procedimentos que contemplarão os roteiros de inspeções de segurança, de monitoramento e dos relatórios de segurança de barragens;

V – os resultados das inspeções de segurança;

VI – as revisões periódicas de segurança;

VII – a regra operacional dos dispositivos de descarga;

VIII – a indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e operação da barragem;

IX – o Plano de Ação Emergencial – PAE, quando exigido.

§1º A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador.

§2º As exigências indicadas nas inspeções periódicas de segurança da barragem devem ser contempladas nas atualizações do Plano de Segurança.

Art. 9º A periodicidade, o conteúdo mínimo, o nível de detalhamento das inspeções de segurança regular e especial deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e dano potencial associado da barragem.

§1º A inspeção de segurança regular será efetuada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório resultante estar disponível para o órgão fiscalizador.

§2º A inspeção de segurança especial será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria de risco e

dano potencial associado da barragem, nas fases de construção, operação e desativação, devendo considerar as alterações das condições a montante e jusante da barragem.

§3º Os relatórios resultantes das inspeções de segurança devem indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem.

Art. 10. Revisões Periódicas de Segurança de Barragens deverão ser realizadas, observada a periodicidade máxima de dez anos, com o objetivo de verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e jusante da barragem.

§1º A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão de segurança periódica serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e danos potenciais associados da barragem.

§2º A revisão de segurança periódica deve indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, para tanto:

I – o exame de toda a documentação da barragem, inclusive os relatórios de inspeções;

II – o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;

III – a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

Art. 11. Em função das categorias de risco e de dano potencial associado, o órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração de Plano de Ações Emergenciais – PAE, devendo exigí-lo sempre para as barragens classificadas como danos potenciais associados alto.

Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem implementadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo prever pelo menos:

- I – identificação e análise das possíveis situações de emergência;
- II – procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou condições potenciais de ruptura da barragem;
- III – procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados, com indicação do responsável por cada ação, para as situações de emergência;
- IV – estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Parágrafo único. O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de Defesa Civil.

Seção III

Do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

Art. 13. Fica instituído o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB, para registro informatizado das condições de segurança das barragens existentes em todo o território nacional consistindo de um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações.

§1º O SNISB contemplará barragens em construção, em operação e desativadas.

§2º As barragens definidas no art. 2º deverão obrigatoriamente ser cadastradas no SNISB.

Art. 14. São princípios básicos para o funcionamento do SNISB:

- I - descentralização da obtenção e produção de dados e informações;
- II - coordenação unificada do sistema;
- III - acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade.

Art. 15. São objetivos do SNISB:

- I – reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação da segurança das barragens existentes no Brasil;
- II – atualizar permanentemente as informações sobre a segurança da barragens existentes em todo o território nacional.

Seção IV

Da Educação e Comunicação

Art. 16. A Educação e Comunicação sobre segurança de barragem têm por objetivo conscientizar a sociedade da importância da segurança de barragens, mediante ações de:.

- I – apoiar e promover ações descentralizadas, com o objetivo de conscientizar e desenvolver o conhecimento sobre segurança de barragens;
- II – elaborar material didático;
- III – manter sistema de divulgação sobre a segurança das barragens sob sua jurisdição;
- IV – promover parcerias com instituições de ensino, pesquisa e associações técnicas relacionadas a engenharia de barragens e áreas afins.

CAPÍTULO V

DAS COMPETÊNCIAS

Art. 17. O órgão fiscalizador, no âmbito de suas atribuições legais, fica obrigado a:

I – elaborar e implantar cadastro das barragens sob sua jurisdição para fins de incorporação no SNISB, no prazo máximo de dois anos, a partir da data de publicação desta Lei;

II – manter atualizado o cadastro de informações sobre segurança das barragens existentes em sua área de jurisdição, identificando os respectivos empreendedores;

III – exigir do empreendedor a anotação de responsabilidade técnica por profissional habilitado pelo Sistema CONFEA/CREA, dos estudos, planos, projetos, construção, fiscalização e demais relatórios citados nesta Lei;

IV – exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança;

V – articular-se com outros órgãos envolvidos com a implantação e a operação de barragens no âmbito da bacia hidrográfica.

Parágrafo único. O órgão fiscalizador deverá informar imediatamente à ANA e ao Sistema Nacional de Defesa Civil sobre qualquer não conformidade que implique em risco imediato à segurança ou acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.

Art. 18. A fiscalização da segurança de barragens caberá:

I – à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos quando o objetivo for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico;

II – à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica;

III – à entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária de rejeitos;

IV – à entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais.

Art. 19. O empreendedor da barragem obriga-se a:

- I – prover recursos necessários à garantia da segurança da barragem;
- II – providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como construído;
- III – organizar e manter em bom estado de conservação as informações e documentações do projeto, construção, operação, manutenção, segurança e desativação quando couber, incluindo as anotações de responsabilidade técnica;
- IV – informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga ou comprometa a segurança da barragem;
- V – manter serviço especializado em segurança de barragens, conforme estabelecido no plano segurança;
- VI – permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador e dos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Defesa Civil ao local da barragem e à sua documentação de segurança;
- VII – providenciar a elaboração e atualização do Plano de Segurança da Barragem, observadas as recomendações das inspeções e revisões periódicas de segurança;
- VIII – Realizar as inspeções de segurança previstas no art. 9º desta Lei;
- IX – Elaborar as revisões periódicas de segurança;
- X – Elaborar o PAE, quando exigido;
- XI – manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;
- XII – manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador.

Parágrafo único. Para reservatórios de aproveitamento hidrelétrico, a alteração de que trata o inciso IV também deverá ser informada ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

CAPÍTULO VI

DISPOSIÇÕES GERAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 20. Os estudos, relatórios, planos e projetos indicados nesta Lei deverão ser elaborados e assinados por profissionais legalmente habilitados pelos respectivos órgãos de classe.

Art. 21. Os empreendimentos a serem implantados após a promulgação desta Lei, seus respectivos projetos deverão conter, além dos dados técnicos sobre a obra, todas as informações necessárias para a operação e manutenção da barragem em condições adequadas de segurança.

§1º O conteúdo e o detalhamento do projeto final deverão incluir os desenhos, as especificações construtivas, os manuais de operação e manutenção dos equipamentos e dispositivos, bem como os estudos hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geotécnicos e ambientais atualizados.

§2º O projeto como construído deverá indicar como a barragem foi construída e conter todas as informações necessárias para a operação e manutenção da barragem em condições adequadas de segurança.

Art. 22. A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, comunicando ao órgão fiscalizador as providências adotadas.

§1º A recuperação ou desativação da barragem deverá ser objeto de projeto específico.

§2º Quando necessário, diante da omissão ou inação do empreendedor, o órgão fiscalizador poderá tomar as medidas cabíveis visando minimizar os riscos e danos potenciais associados relativos à segurança da barragem e os custos desta ação deverão ser ressarcidos pelo empreendedor.

Art. 23. Os empreendedores de barragens enquadradas no art. 2º desta Lei terão prazo de dois anos, contados a partir de sua publicação, para submeterem à aprovação dos órgãos fiscalizadores um relatório especificando as ações e o cronograma para a implantação do Plano de Segurança da Barragem.

Parágrafo único. Após o recebimento do relatório de que trata o *caput*, os órgãos fiscalizadores terão prazo de até um ano para se pronunciarem.

Art. 24. Ficam os Municípios e Estados da Federação obrigados a fornecer, ao SNISB, as informações referentes à existência de barragens que se enquadrem no Art. 2º, em seus respectivos territórios, no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias.

Art. 25. O descumprimento dos dispositivos desta Lei sujeita aos infratores às penalidades estabelecidas na legislação pertinente.

Art. 26. O Art. 35 da Lei nº 9433, de 1997, que trata da competência do CNRH fica acrescido dos seguintes incisos:

XI – zelar pela implementação da Política Nacional sobre Segurança de Barragens - PNSB;

XII – estabelecer diretrizes gerais para implementação da Política Nacional sobre Segurança de Barragens - PNSB, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB.

Parágrafo único. O CNRH deverá emitir normas e procedimentos gerais para implantação do SNISB, considerando a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das informações sobre segurança, determinado em função da categoria de risco e dano potencial associado da barragem.

Art. 27. O Art. 4º da Lei nº 9984, de 17 de julho de 2000, que trata da competência da Agência Nacional de Águas – ANA, fica acrescido dos seguintes itens:

XIX - organizar, implantar e gerir o SNISB;
XX – promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens;
XXI – coordenar a elaboração do relatório de segurança de barragens e encaminhá-lo, anualmente ao CNRH, de forma consolidada.

Art. 28. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Anexo I

JUSTIFICATIVAS

A proposta de substitutivo ao PL nº 1.181, de 2003, apresentada pelo Deputado Fernando Ferro na Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados foi adotada como o marco inicial para a análise no âmbito da Câmara Técnica de Análise de Projeto do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CTAP.

As alterações propostas em relação ao substitutivo justificam-se pelos seguintes aspectos:

a) A criação do Conselho Nacional sobre Segurança de Barragens foi considerada desnecessária devido à existência de colegiados semelhantes. Dentre as opções existentes, Conselho Nacional de Defesa Civil - CONDEC, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA e Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, este foi considerado o mais apropriado para assimilar essas atribuições, propondo-se inclusive a criação de uma câmara técnica específica para tratar de segurança de barragens;

b) A Agência Nacional de Águas – ANA, autarquia especial vinculada ao MMA, ficaria responsável por organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens - SNISB, devendo coordenar a elaboração do relatório de segurança de barragens. Além disso, a ANA deverá encaminhar ao CNRH, anualmente, o relatório consolidado sobre

segurança de barragens. Essa proposta de atribuição da ANA decorre da mesma já estar recebendo as informações do Cadastro Nacional de Barragens e ser responsável pelo Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH).

c) Na classificação das barragens proposta foi acrescentado o critério dano potencial para dar mais abrangência ao projeto de lei. Essa mudança no texto está associada ao critério risco, que envolve falha física e probabilidade de difícil mensuração, enquanto o dano potencial envolve perdas decorrentes da ruptura da barragem.

d) Para melhor redação legislativa e norteamento da proposta providenciou-se o agrupamento dos artigos em capítulos e seções por correspondência de assuntos.

e) Houve preocupação em preservar a segurança das barragens, em especial no descomissionamento daquelas destinadas à disposição final ou temporária de estéril e de rejeitos e para fins de disposição de resíduos industriais.

f) O estabelecimento de penalidades foi considerado desnecessário, tendo em vista a existência de legislação pertinente sobre o assunto.

g) A indenização dos prejuízos causados também já está contemplada no Código Civil, motivo pelo qual não foi destacada nesta proposição.

h) A revisão periódica da barragem, o projeto construtivo e o projeto final como construído deixaram de ser instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. A revisão periódica passou a fazer parte do Plano de Segurança da Barragem (que é considerado um instrumento do PNSB) e os projetos construtivos e como construído passaram a ser obrigatórios somente para empreendimentos a serem implantados após a promulgação desse Projeto de Lei, visto que há uma dificuldade em resgatar e recuperar projetos de barragens antigas.

É importante ressaltar a necessidade de definição de uma fonte estável de recursos para a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, bem como do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, fundamental para o seu sucesso.

ANEXO C

Questionário para obtenção dos Pesos dos Critérios

Prezado(a) Senhor(a):

Sou aluna de mestrado da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP. Estou desenvolvendo a minha dissertação, cujo título é *Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens*.

Estou desenvolvendo uma nova metodologia para avaliação da segurança de barragens existentes. Conforme a bibliografia consultada, foram escolhidos dezoito critérios / parâmetros para avaliação de segurança de barragens a serem analisados em cada empreendimento, os quais estão abaixo relacionados.

- 1) importância da barragem
- 2) dimensões (altura da barragem e volume do reservatório)
- 3) tipo de barragem
- 4) tipo de vertedor
- 5) tempo de retorno de projeto dos órgãos de segurança contra enchentes
- 6) instalações a jusante
- 7) instalações a montante
- 8) idade da barragem
- 9) qualidade geral dos dados técnicos
- 10) presença de vazamento
- 11) presença de deformações
- 12) estudo de deterioração em aspectos gerais e taludes
- 13) evidências de erosão à jusante
- 14) condições dos equipamentos do vertedor para prevenção de enchentes
- 15) eutrofização do reservatório
- 16) alteração do uso e ocupação do solo
- 17) eliminação da vegetação natural ou implantada
- 18) acidentes relacionados com a barragem

Para este trabalho, necessito da opinião de especialistas em barragens, como a sua, que indicarão os pesos dos critérios a serem avaliados que determinam a relevância de cada critério

na avaliação geral da segurança da barragem. Uma nota entre zero e dez deverá ser atribuída para cada um dos dezoito critérios aqui relacionados. Caso queira sugerir algum outro critério que julgue importante porém não relacionado, por favor, acrescente-o.

Espero poder contar com a sua valiosa opinião, pois é de suma importância para o bom desenvolvimento do trabalho. A resposta deverá ser encaminhada para monicaresio@ig.com.br ou bgenovez@fec.unicamp.br, da forma que julgar mais apropriada. Caso necessite de maiores esclarecimentos, o mesmo e-mail poderá ser utilizado.

Sem mais no momento e no aguardo de sua colaboração o mais breve possível.

Atenciosamente,

Monica Soares Resio Zuffo

Aluna

Profa. Dra. Ana Inés Borri Genovez

Orientadora